

**UNIVERSIDADE DE LISBOA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ORDENAMENTO DO
TERRITÓRIO**



**OS SIG NO PROCESSO DE CRIAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE
APOIO À DECISÃO**

O Mapa de Potencial Pedonal de Lisboa

Pedro Miguel Benjamim Moraes

**MESTRADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E
MODELAÇÃO TERRITORIAL APLICADOS AO ORDENAMENTO**

2013

UNIVERSIDADE DE LISBOA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ORDENAMENTO DO
TERRITÓRIO



OS SIG NO PROCESSO DE CRIAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE
APOIO À DECISÃO

O Mapa de Potencial Pedonal de Lisboa

Pedro Miguel Benjamim Moraes

MESTRADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E
MODELAÇÃO TERRITORIAL APLICADOS AO ORDENAMENTO

Orientação

Professor Doutor Nuno Manuel Sessarego Marques da Costa

Co-orientação

Arquitecto Pedro Homem de Gouveia

2013

Largos dias têm cem anos.

ÍNDICE

RESUMO	VIII
ABSTRACT.....	IX
AGRADECIMENTOS	X
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MOBILIDADE E OS MODOS SUAVES.....	3
2.1 O CONCEITO DE MOBILIDADE	3
2.2 MOBILIDADE SUSTENTÁVEL	4
2.3 MODOS SUAVES	6
2.4 MODO PEDONAL	9
3. OS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	17
3.1 SIG FERRAMENTA OU CIÊNCIA.....	17
3.2 COMPONENTES DE UM SIG	19
3.3 MODELOS DE DADOS ESPACIAIS	20
3.3.1 Modelo de dados vectorial.....	21
3.3.2 Modelo de dados raster.....	24
3.4 ANÁLISES ESPACIAIS EM SIG	26
3.4.1 Análise espacial em ambiente vectorial	27
3.4.2 Análise espacial em ambiente raster	29
4. ANÁLISE DE REDES	31
4.1 TEORIA DOS GRAFOS	31
4.2 CONCEPÇÃO DE UMA REDE A PARTIR DO MÓDULO <i>NETWORK ANALYST</i>	35
4.2.1 Elementos da rede	36
4.2.2 Conectividade da rede.....	37
4.2.3 Atributos da rede	40
4.3 PRINCIPAIS TIPOS DE ANÁLISE DE REDES	42
4.3.1 Cálculo de caminhos mínimos.....	42
4.3.2 Análise de áreas de influência.....	44
5. ANÁLISE MULTICRITÉRIO	47
5.1 AVALIAÇÃO DOS PESOS PARA OS CRITÉRIOS	48
5.2 NORMALIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS	49
5.3 COMBINAÇÃO DE CRITÉRIOS.....	50

6. CASO DE ESTUDO – O MAPA DE POTENCIAL PEDONAL DE LISBOA	53
6.1 INTRODUÇÃO	53
6.2 ÁREA DE ESTUDO	53
6.2.1 Breve caracterização sócio-demográfica	55
6.2.2 Actividade económica, emprego e mobilidade.....	57
6.3 O POTENCIAL PEDONAL DE LISBOA	63
6.3.1 O instrumento.....	64
6.4 METODOLOGIA	65
6.4.1 Dados.....	66
6.4.2 A rede e análise por área de influência	70
6.4.3 A análise multicritério	74
6.5 ANÁLISE GLOBAL DO MAPA.....	79
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E FUTUROS DESENVOLVIMENTOS.....	81
BIBLIOGRAFIA	87
ANEXOS.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Distâncias a partir de modos suaves ou a partir de automóvel individual.....	6
Figura 2 - Comparação dos tempos de deslocação em centros urbanos numa distância de 8km.....	7
Figura 3 - Comparação dos principais modos de transporte na UE27 e Portugal em 2010.....	8
Figura 4 - Meios de transporte utilizados nos movimentos pendulares em Portugal, entre 2001 e 2011.....	9
Figura 5 - Espaço ocupado por um peão.	11
Figura 6 - Velocidade de circulação do peão influenciado pelo declive.	12
Figura 7 - Distâncias que são aceitáveis percorrerem para determinados serviços.	12
Figura 8 - Modelos de dados espaciais: Modelo Vectorial e Modelo <i>Raster</i>	20
Figura 9 - Rede de triângulos irregular, TIN	22
Figura 10 - Estrutura de dados vectorial do tipo “Spaghetti”.....	23
Figura 11 - Estrutura dos dados vectoriais por dicionário de vértices.....	23
Figura 12 - Formatos das células <i>raster</i> , triangulares, hexagonais ou quadrangulares	24
Figura 13 - Resolução espacial e consequente número de células no modelo de dados <i>raster</i>	25
Figura 14 - Erros na conversão de objectos vectoriais para <i>raster</i>	25
Figura 15 - Mapa da localização das ocorrências de cólera.....	26
Figura 16 - Sobreposição de imagens <i>raster</i>	30
Figura 17 - Reclassificação de imagens <i>raster</i>	30
Figura 18 - Cálculo da média local em imagens <i>raster</i>	30
Figura 19 - As 7 pontes de Königsberg sobre o rio Pregel	32
Figura 20 - Grafo Euleriano.....	32
Figura 21 - Representação de um grafo.....	33
Figura 22 - Representação do modelo arco-nó e respectiva tabela	36
Figura 23 - <i>Turns</i>	36
Figura 24 - Conectividade entre diferentes redes (grupo1 e grupo2), a partir de uma rede “Transfer”.....	37
Figura 25 - Conectividade entre arcos por <i>End Point</i> e <i>Any Vertex</i>	38
Figura 26 - Conectividade a partir de um campo de elevação.....	39
Figura 27 - Atributos de uma rede.....	41
Figura 28 - Calculo da melhor rota.....	43
Figura 29 - Áreas de influência estação do metropolitano da Cidade Universitária	45
Figura 30 - Distância linear da estação do metropolitano da Cidade Universitária.	45
Figura 31 - Avaliação de pesos para os critérios por escala de pontos	49

Figura 32 - Funções <i>fuzzy</i>	50
Figura 33 - Área de estudo.	53
Figura 34 - Freguesias de Lisboa antes da reorganização administrativa.	54
Figura 35 - Freguesias de Lisboa depois da reorganização administrativa.	55
Figura 36 - Evolução da população residente em Lisboa e na AML entre 1981-2011	56
Figura 37 - Estrutura etária da população de Lisboa entre 1991-2011.....	56
Figura 38 - Estrutura produtiva da população activa na AML entre 1991 e 2011.	58
Figura 39 - Indicador de empresas por densidade de empresas N.º/km² na AML em 2010.....	59
Figura 40 - Total de pessoas ao serviço nas empresas por município da sede segundo a CAE na AML em 2010.....	59
Figura 41 - Percentagem da população que entra e sai na região em 2011	60
Figura 42 - Movimentos pendulares na AML em 2011	61
Figura 43 - Tempo médio por deslocação na AML em 2011	62
Figura 44 - Meio de transporte utilizado nos movimentos pendulares na AML entre 2001 e 2011.....	62
Figura 45 - Fluxograma da metodologia do MAPPe.....	65
Figura 46 - Densidade populacional de Lisboa por subsecção estatística em 2011....	68
Figura 47 - Rede Viária e Rede Ciclável de Lisboa.....	69
Figura 48 - Nome da rede.....	71
Figura 49 - Grupos de conectividade da rede.	71
Figura 50 - Atributo “Meters” da rede e avaliador do atributo.	72
Figura 51 - Áreas de influência da categoria transportes públicos.	73
Figura 52 - Atribuição de pontos para as áreas de influência da categoria transportes públicos.	74
Figura 53 - Critério 1 pólos geradores.....	76
Figura 54 - Critério 1 pólos geradores normalizados.....	77
Figura 55 - Critério 2 densidade populacional normalizada.....	77
Figura 56 - Mapa de Potencial Pedonal de Lisboa – MAPPe.....	79
Figura 57 - Modelo de desenvolvimento territorial de Lisboa	80
Figura 58 - Atropelamentos em Lisboa entre 2010-2011.	82
Figura 59 - Cruzamento entre o MAPPe e os dados dos atropelamentos de 2010-2011	83

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Funções de análise espacial utilizados no modelo de dados vectoriais	28
Quadro 2 - Medidas de análise em redes.	35
Quadro 3 - Densidade populacional por hab./ha entre 1991 e 2011	57
Quadro 4 - Quadro síntese dos pólos geradores.	67
Quadro 5 - Pontuação para as diferentes isométricas.....	73
Quadro 6 - Pesos dos sub-critérios dos pólos geradores.....	75
Quadro 7 - Percentagem da rede viária por potencial pedonal.	80
Quadro 8 - Cruzamento entre o MAPPE e os dados dos atropelamentos de 2010-2011	83

RESUMO

Palavras-chave: SIG; Análise de Redes; Análise Multicritério; Potencial Pedonal; Lisboa.

Nas últimas décadas tem-se observado um crescimento na aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), tanto ao nível da gestão da informação, como também no desenvolvimento de instrumentos de apoio à decisão. Na presente dissertação pretende-se assim abordar a utilização dos SIG no processo de criação de instrumentos de apoio à decisão. Neste processo estão intrínsecas as componentes dos SIG, o *hardware*, *software*, dados e métodos, mas também o técnico, a componente *lifeware* deste sistema.

No desenvolvimento desta dissertação serão abordados os tipos de modelo de dados que existem em SIG e de dois métodos de análise espacial, utilizados no âmbito do caso de estudo.

No que respeita ao caso de estudo desenvolveu-se um instrumento de apoio à decisão a partir dos SIG, que se encontra inserida no Plano de Acessibilidade Pedonal de Lisboa e pretende modelar o potencial pedonal deste município. Este instrumento visa contribuir para o apoio ao conhecimento, compreensão, planeamento e gestão do espaço público, por onde se deslocam os peões, de modo a se perceber quais são as áreas do município de Lisboa onde existe uma maior concentração de fluxos pedonais, possibilitando assim a definição de prioridades na actuação da melhoria do espaço público. Compreende-se assim, que mediante a utilização deste instrumento, há a possibilidade de uma melhor afectação dos recursos humanos e financeiros das autoridades responsáveis pelo espaço público. A melhoria destes espaços vai permitir o aumento da prática de andar a pé e assim promover práticas de mobilidade sustentável, melhorando a qualidade de vida e do meio ambiente do município de Lisboa.

ABSTRACT

Keywords: GIS; Network Analysis; Multicriteria Analysis; Pedestrian Potential; Lisbon.

In the last decades we have been watching to a growth of the employment of Geographic Information Systems (GIS) as a way of Intel management and as a way of developing tools that will support decisions. In this dissertation GIS will be approached as a way of creating a support decision tool. In this process there are inherent GIS components as hardware, software, data and methods but was also considered the technician, which is the lifeware of this system.

While developing this dissertation there will be approached two types of data models existent on GIS and two spatial analysis methods that were used in the case study.

For the case study it was developed a support decision tool using GIS which is incorporated on the Pedestrian Accessibility Plan of Lisbon and aiming to model the pedestrian potential of this municipality. This tool intends to support knowledge, understanding, planning actions and management of public space in order to understand which areas of the municipality of Lisbon have a bigger concentration of pedestrian flows by knowing where pedestrians move about. This allows defining priorities for improvements on public space. This is why it's understandable that by using this tool there will be better decisions on where human and financial resources, of authorities responsible for public spaces, should be allocated. Improving these spaces will allow the growth of people walking and so it will promote practices of sustainable mobility therefore improving lifestyle quality and also the environment of Lisbon's municipality.

AGRADECIMENTOS

Queria aproveitar para manifestar alguns agradecimentos a pessoas que por algum motivo em especial contribuíram para a concretização desta dissertação.

Quero agradecer ao meu orientador, Professor Dr. Nuno Marques da Costa, pela partilha de conhecimentos, pelo apoio no desenvolvimento desta dissertação, mas principalmente pela oportunidade e pela aposta que tem feito em mim.

Também gostaria de agradecer aos Professores do IGOT, mais propriamente aos Professores Dr. Eusébio Reis, Dr. Paulo Morgado e Dr. Jorge Rocha, às Professoras Dra. Eduarda Marques da Costa e Dra. Margarida Queiroz, pelo conhecimento que partilharam durante a minha formação académica.

Ao Núcleo de Acessibilidade Pedonal da Câmara Municipal de Lisboa, onde desenvolvi o caso de estudo desta dissertação, mas em particular ao Arq. Jorge Falcato, Arq. Pedro Nave, Eng. Vanda Lopes, Eng. Maria José Velho e à Dra. Sandra Moço, pelo apoio e pelas horas de boa disposição que se viviam naquele núcleo, um agradecimento em especial ao Coordenador do Núcleo e co-orientar, o Arq. Pedro Homem de Gouveia, pela confiança depositada, pela troca de experiências e pela oportunidade de me fazer evoluir e melhorar em certos aspectos da minha formação profissional.

Aos meus amigos, mais propriamente ao grupo da “Horta” João Santos, Marco Delgado, Fábio Serra, Rafael Guerreiro, Pedro França, Ricardo Cruz, Pedro Gonçalves, Filipa Macedo, Susana Brito, Catarina Prata e Inês Lázaro pela amizade e pelos momentos de descontração durante o meu percurso académico e por fim agradecer a dois amigos de longa data que tanto me ajudaram, Paulo Nunes e Tiago Silva.

Também queria deixar um agradecimento em especial à Stephanie Cleghorn (Sté) e ao Gonçalo Miranda dois amigos que partiram recentemente que muito me ajudaram e fizeram rir e que agora muita falta faz. A eles dedico também este trabalho.

Aos meus pais e ao meu irmão Marco, o meu orgulho.

A ti Inês, por seres a pessoa que és, pelo carinho e compreensão que tens comigo e por me ajudares a melhorar todos os aspectos da minha vida.

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais desafios que afectam as sociedades urbanas modernas é o da mobilidade. A diminuição do espaço nas cidades e o crescimento urbano difuso e fragmentado, levou a que nos principais centros urbanos a mobilidade fosse muito dependente da utilização do automóvel individual. Esta dependência levou a que durante anos houvesse um incremento de políticas de mobilidade nas cidades em torno do automóvel, em detrimento de outros modos de transporte (Nunes da Silva, 2008). No contexto actual, em que a aposta se tem centrado no aumento de práticas sustentáveis, como a diminuição da dependência dos combustíveis fósseis, a diminuição da emissão de gases de efeito de estufa e CO₂ e na promoção de modos de mobilidade mais suaves para a redução do tráfego motorizado nas cidades, levou a que as políticas e o planeamento ao nível de uma mobilidade mais sustentável nas cidades fosse alvo de atenção e de estudo, por parte das instituições públicas e entidades privadas responsáveis pela mobilidade no seu território.

As instituições e entidades que apresentam responsabilidade na gestão da mobilidade nos centros urbanos, debatem-se diariamente com dificuldades na gestão do espaço público. Mais concretamente na determinação de prioridades de acção e na avaliação da eficácia das estratégias delineadas, o que origina invariavelmente uma prestação de serviços insuficientes à comunidade e que leva muitas vezes ao desperdício de recursos financeiros e humanos.

Neste sentido os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm, progressivamente, constituído um meio para se chegar a um fim, ou seja, cada vez mais os SIG são utilizados para a gestão e a tomada de decisões no espaço público, que em grande parte se devem às suas características de armazenamento, gestão e análise de informação georreferenciada, estando assim vocacionados para a resolução de problemas complexos de decisão espacial. Dado a informação se encontrar associada a uma localização, é possível aplicar um conjunto de técnicas de análise espacial que permitam avaliar e modelar fenómenos que ocorrem no território. É deste modo possível apoiar planos de diagnóstico e alimentar mecanismos de execução e gestão de projectos no espaço público, que influenciam a mobilidade das cidades.

Face às considerações apresentadas anteriormente, a presente dissertação tem como principal objectivo o desenvolvimento de um instrumento de apoio à decisão a partir de um SIG, com o recurso a diferentes metodologias de análise espacial. Mediante este processo criou-se um modelo para o Município de Lisboa que indica na

rede viária os locais onde é mais provável a concentração de fluxos pedonais, tendo este instrumento sido designado por Mapa de Potencial Pedonal de Lisboa (MAPPe). De referir que uma das premissas deste era utilizar unicamente informação georreferenciada existente no servidor da instituição neste caso da Câmara Municipal de Lisboa, não sendo necessária a aquisição de nova informação restringindo assim qualquer custo para a instituição.

A presente dissertação encontra-se estruturado em 7 capítulos, que de seguida se descrevem sucintamente.

Em primeiro lugar apresenta-se uma breve introdução com a apresentação do tema, os objectivos, e a estrutura da dissertação. Após essa introdução, os capítulos de 2 a 5 apresentam uma parte relativa às considerações teóricas da dissertação. No capítulo 2 é apresentado um breve enquadramento à mobilidade, passando pela mobilidade sustentável e finalizando com os modos suaves e modo pedonal. A seguir, no capítulo 3, são apresentados os conceitos relativos aos SIG numa breve definição do conceito, componentes, estruturas de dados e uma síntese das principais análises espaciais realizadas nos dois modelos de dados. No capítulo 4 apresenta-se a análise de redes, onde é enunciada a teoria dos grafos e a construção de uma rede a partir de um módulo de um software SIG, finalizando com as principais análises realizadas pelo mesmo. Por fim, no capítulo 5 faz-se uma síntese das principais técnicas de análise multicritério.

No capítulo 6 desenvolve-se a parte prática da dissertação, onde se efectua uma descrição pormenorizada da metodologia que esteve subjacente no processo de criação do instrumento de apoio à decisão, o Mapa de Potencial Pedonal de Lisboa, salientando-se as metodologias de análise de redes e análise multicritério aplicadas no desenvolvimento desta e finalizando este capítulo com uma apreciação global dos resultados obtidos.

O capítulo 7 é referente às conclusões, engloba as reflexões finais dos resultados, as vantagens e limitações do instrumento, com a indicação dos possíveis desenvolvimentos futuros do Mapa de Potencial Pedonal de Lisboa como instrumento de apoio à decisão.

“A compreensão e caracterização da mobilidade urbana na grande maioria das cidades Europeias exigem hoje uma abordagem muito mais abrangente e integrada do que aquela que se verificava há apenas umas duas ou três décadas atrás.”

Fernando Nunes da Silva, 2008¹

2. MOBILIDADE E OS MODOS SUAVES

2.1 O CONCEITO DE MOBILIDADE

Na actualidade mais de metade da população mundial vive em áreas urbanas e por isso, as cidades aumentaram a sua dimensão sem precedentes, levando a novos desafios para quem vive e gere as cidades. Neste ponto a mobilidade surge como um dos principais problemas das cidades actuais, havendo um aumento do congestionamento automóvel, da poluição atmosférica, bem como a desvalorização do espaço público, o que leva à diminuição da qualidade de vida nas cidades (Nunes da Silva, 2008).

É por isso necessário definir o conceito de mobilidade. Esta pode ser entendida como a capacidade que cada pessoa tem de se deslocar entre dois pontos, recorrendo a diferentes modos de transporte disponíveis (Costa, 2007). A mobilidade pode também ser vista como uma forma de consumo para se chegar a um destino (Alves, 2008). Por outro lado, a mobilidade, a maior facilidade de deslocação num território, deve ser entendida como um dos indicadores mais fortes da evolução das cidades (Reichen, 2006). Muitos autores são unânimes em considerar que o fenómeno da urbanização está intrinsecamente ligado à democratização da mobilidade.

Intrinsecamente relacionada com a mobilidade está a acessibilidade, conceito fulcral para se compreender os desafios que os centros urbanos enfrentam actualmente. Existem várias acepções, mas pode-se entender a acessibilidade como a “capacidade do meio de proporcionar a todas as pessoas uma igual oportunidade de uso, de uma forma directa, imediata, permanente e a mais autónoma possível” (CML, 2013, pp.21). Compreende-se assim que a mobilidade e a acessibilidade são dois conceitos diferentes, mas intrinsecamente ligados no funcionamento dos centros urbanos, tornando-se importante compreendê-las na sua interdependência, mas também na sua singularidade.

¹ Nunes da Silva (2008, p. 67)

Com o paradigma da sustentabilidade urbana, verificou-se a necessidade de se arranjar alternativas para a melhoria da mobilidade urbana e para isso surgiram medidas de promoção da mobilidade sustentável. Esta visava a melhoria da qualidade de vida, valorização do espaço público, defesa do ambiente, com a redução das emissões de dióxido de carbono e de gases com efeito de estufa e a diminuição da dependência energética dos combustíveis fósseis.

2.2 MOBILIDADE SUSTENTÁVEL

A necessidade de um desenvolvimento sustentável dos centros urbanos, colocou a mobilidade como um dos vectores mais importantes e urgentes nas acções a desenvolver. Para isso foi necessário a tomada de medidas práticas e sustentáveis para a resolução dos novos desafios nestes centros surgindo, assim, um novo domínio da mobilidade, a mobilidade sustentável, que de maneira simples se caracteriza por ser uma forma de deslocação das pessoas com o recurso a modos de transporte sustentáveis (Agência Portuguesa do Ambiente [APA], 2010). Deste modo, a mobilidade sustentável integra medidas de minimização da necessidade de utilização do transporte individual, o automóvel, com o aumento da utilização das energias renováveis, redução das emissões de CO₂ e aumento da eficiência energética dos transportes públicos, promovendo uma maior interacção e uso dos modos suaves (ciclável e pedonal), o que também vai promover melhorias do espaço público, elemento importante para a melhoria da qualidade ambiental dos centros urbanos (APA, 2010).

Para a promoção da mobilidade sustentável foram criadas políticas comunitárias e nacionais, que criaram instrumentos de apoio e orientação para práticas de mobilidade mais sustentáveis. Ao nível comunitário surgem vários documentos que apresentam directrizes para a melhoria da mobilidade nas cidades europeias (Instituto da Mobilidade e dos Transportes [IMT], 2012), tais como:

- O “**Livro Branco**” (2001 e 2006), documento que definiu a política de transportes na UE até 2010 e tinha como prioridades a promoção da mobilidade sustentável, pelo uso de modos suaves e reorganização dos modos de transporte (IMT, 2012).
- O “**Livro Verde**”, publicado em 2007 pela Comissão Europeia, na sequência da Revisão do “Livro Branco”, centrou-se no tema da mobilidade urbana através de cinco desafios que as cidades e vilas europeias apresentam actualmente, como: cidades e vilas descongestionadas; cidades e vilas mais verdes;

transportes urbanos mais inteligentes; e cidades e vilas mais seguras e acessíveis (IMT, 2012).

- O **Plano de Acção para a Mobilidade Urbana** vem em seguimento do “Livro Verde” e vem reforçar acções para a mobilidade sustentável com medidas progressivas, num período compreendido entre 2009 e 2012. Promove assim seis vectores de acção, em torno da mobilidade urbana, através da promoção da interligação, integração e interoperabilidade entre as diferentes redes de transporte urbano, para a criação de ambientes mais saudáveis (IMT, 2012).
- A estratégia **EUROPA 2020** para um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo da UE, é outro plano lançado em 2010. Este apresenta objectivos a cumprir nesta década nos sectores das alterações climáticas, através da redução dos gases de efeito de estufa em 20% e na alteração dos consumos energéticos, com o aumento de 20% na utilização de energias renováveis e com o aumento em 20% da eficiência energética (IMT, 2012).

A nível nacional também houve a necessidade de se adoptar medidas de promoção à mobilidade sustentável, para ir ao encontro das medidas comunitárias. Nestas sublinham-se o Plano Nacional de Ordenamento do Território (PNPOT), a Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável (ENDS), o Quadro de Referência da estratégia nacional (QREN) e os Planos Operacionais Regionais (POR), que apresentam objectivos no reforço de medidas e estratégias de apoio à mobilidade sustentável e à protecção do ambiente. Em 2009, o governo determina a elaboração do “Plano Nacional de promoção da bicicleta e outros modos de transporte suaves”, definindo os modos de transportes suaves como “meios de deslocação e transporte de velocidade reduzida, ocupando pouco espaço e com pouco impacto na via pública e sem emissões de gases para a atmosfera como a simples pedonalidade ou a deslocação com o recurso a bicicletas, patins, skates, trotinetas ou quaisquer outros similares, encarados como uma mais-valia económica, social e ambiental, e alternativa real ao automóvel”². É de salientar o Plano Estratégico dos Transportes - Mobilidade Sustentável (2011-2015), que apresenta linhas orientadoras para a concretização de reformas na área da competitividade, coesão social e mobilidade num período de 4 anos (IMT, 2012). Em Lisboa encontra-se em fase de desenvolvimento o primeiro plano de acessibilidade pedonal, ferramenta que vai promover a acessibilidade e mobilidade pedonal da cidade de Lisboa.

² Resoluções da Assembleia da República n.º3/2009 e 4/2009 aprovados em 23 de Janeiro e Despacho n.º11125/2010 Publicado a 7 de Julho, da Presidência do Conselho de Ministros e Ministérios da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento, das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, do Ambiente e do Ordenamento do Território e da Educação

Em síntese percebe-se a necessidade de articular sociedade civil, instituições, empresas de transporte público e decisores, para que se crie uma nova cultura de mobilidade assente nos pilares da sustentabilidade ambiental, económica e social.

2.3 MODOS SUAVES

Uma das medidas de apoio à mobilidade sustentável é a promoção dos modos suaves, que se caracterizam “essencialmente por serem modos de transporte não motorizados, modos verdes, transportes activos, modos saudáveis, modos lentos e modos de transporte de propulsão humana” (APA, 2010, p.37) e vulgarmente caracterizam-se por serem um modo de deslocação em bicicleta ou a pé. Sendo essencialmente adequados a viagens de média e curta distância (Figura 1), são um modo também muito utilizado em articulação com os transportes públicos colectivos, conseguindo-se assim atingir as distâncias superiores que requerem recurso ao automóvel individual (Rogers, 2008).

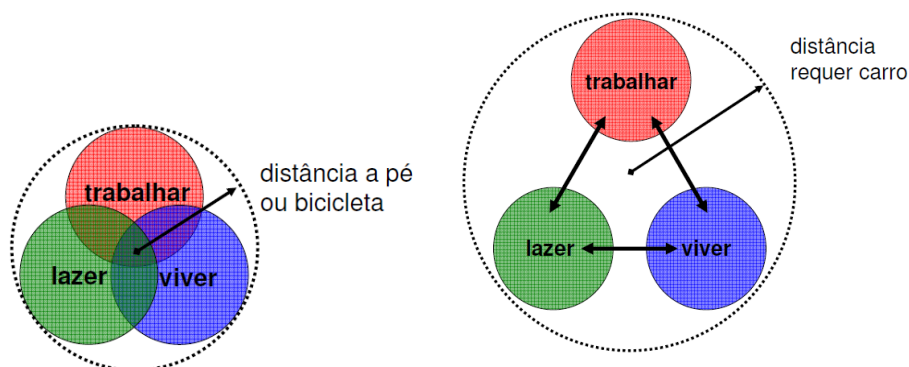


Figura 1 - Distâncias a partir de modos suaves ou a partir de automóvel individual (Adaptado Rogers, 2008).

Como anteriormente referido, os modos suaves têm particular expressão segundo dois modos, o modo ciclável e o modo pedonal. No primeiro caso é necessário um veículo, que é a bicicleta, que não requer um longo período de aprendizagem e é um meio simples e bastante rápido para pequenas e médias distâncias. O outro modo suave é o pedonal, que é o mais importante de todos porque, é universal e porque todos somos peões. O peão é uma pessoa que usufruindo da via pública, não é condutor nem passageiro ou seja, o peão apresenta uma elevada capacidade de deslocação, de disponibilidade e de capacidade de opção.

A integração dos modos suaves na mobilidade dos centros urbanos introduz imensas vantagens na sua implementação, podendo ser agrupadas em 4 grandes grupos (IMT, 2012):

- **Ambiente** – Melhoria da qualidade do ar, diminuição da emissão de CO² e dos gases com efeito de estufa e redução do ruído;
- **Económico** – com a diminuição do uso do automóvel existe a redução dos gastos directos e indirectos (principalmente nos combustíveis, manutenção do automóvel, impostos de circulação);
- **Social** – Uma actividade física regular promove a melhoria dos níveis de saúde e a diminuição do sedentarismo, levando a uma redução da obesidade e das doenças cardiovasculares, entre outras;
- **Transportes Públicos** – Aumento das relações de inter-modalidade. Os modos suaves são um importante meio de deslocação entre os vários transportes públicos colectivos, porque é por através destes que se realiza a ligação Casa - Estação/Paragem - Trabalho/Estudo.

Nos últimos anos, a União Europeia (UE) tem-se empenhado na promoção dos modos suaves como deslocação nas viagens de média e curta distância. No meio urbano, as deslocações de curta distância com modos suaves, particularmente a partir de uma bicicleta, são mais rápidos do que o automóvel individual, como podemos observar na Figura 2. Este é o resultado de um estudo da Comissão Europeia em 2000, que compara os diferentes tempos de deslocação numa distância de 8 km no meio urbano, onde se observa que a bicicleta é um meio de transporte mais favorável no tempo despendido ao longo dos 8 km mas também apresentando outras vantagens como sendo mais silencioso, muito económico e não poluente (IMT, 2012). Por outro lado uso dos modos suaves combinado com os transportes públicos potencia as vantagens de ambos, permitindo aumentar significativamente as distâncias nas deslocações diárias.

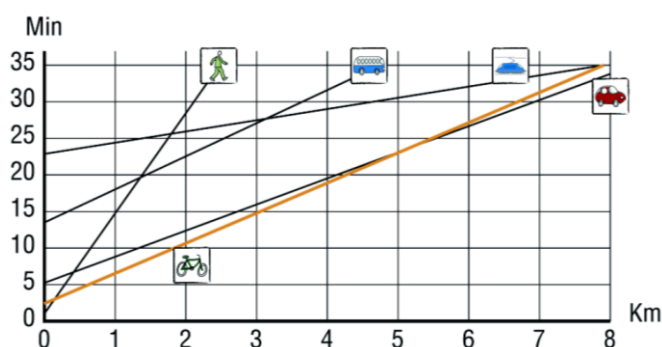


Figura 2 - Comparação dos tempos de deslocação em centros urbanos numa distância de 8km (Comissão Europeia, 2000).

De um modo geral, a utilização dos modos suaves nas deslocações diárias, permitem uma equidade na mobilidade para todos os cidadãos, permitindo para além disto uma valorização do espaço público e aumento da qualidade da vida urbana. Fica

assim facilitada uma vivência e interação entre as pessoas e o espaço em que habitam, muito maior do que em qualquer outro modo.

Numa comparação entre os principais modos de transportes, entre a UE27 e Portugal (Figura 3), em 2010, ao nível da utilização do transporte individual, Portugal encontra-se na média europeia. Em relação aos transportes públicos, apenas apresentamos uma descida de cinco décimas de ponto percentual, o que denota que o uso de transportes públicos em Portugal não foge da média Europeia. Contudo, é nos modos suaves que surgem as principais diferenças, pois no uso da bicicleta estamos muito abaixo da média europeia e inúmeros factores podem explicar este desfasamento. Um destes factores, poderá ser a deslocação a pé (modo pedonal), em detrimento da utilização da bicicleta, que tal como se pode observar no Figura 3, em Portugal, o andar a pé, encontra-se bem acima da média da Europa dos 27.

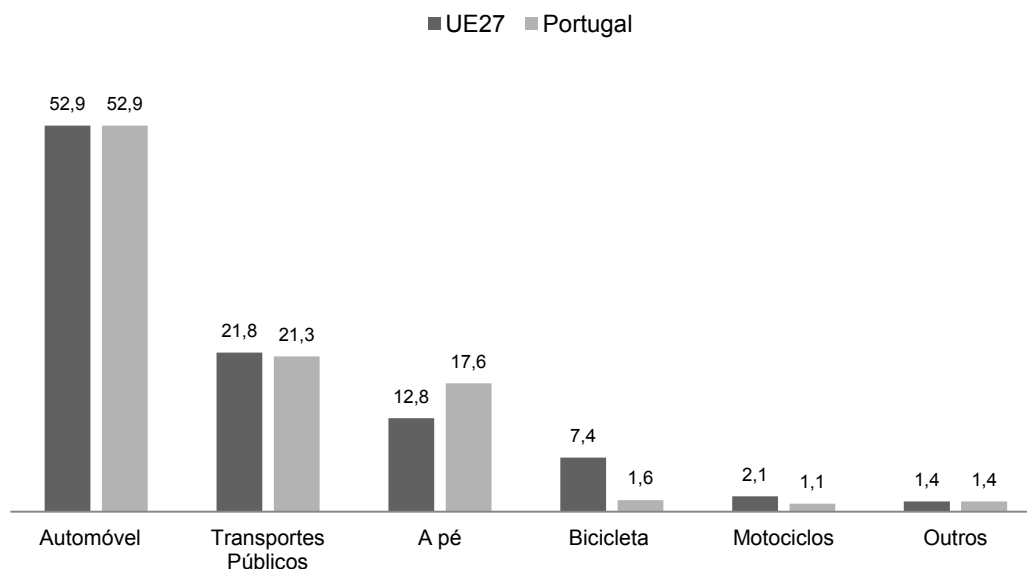


Figura 3 - Comparação dos principais modos de transporte na UE27 e Portugal em 2010 (Eurobarómetro sobre Política de Transportes, 2010).

Numa análise dos movimentos pendulares em Portugal, comparando os Censos de 2001 e 2011 (Figura 4), o automóvel é o modo de transporte mais utilizado nas deslocações casa - trabalho ou casa - estudo, apresentando um aumento de 16% do seu uso individual nas deslocações. O que revela um aumento muito significativo em relação a 2001.

Em relação aos transportes públicos, só o metropolitano reforçou a sua importância no transporte de passageiros, ao contrário dos outros modos como o autocarro e o comboio, que sofreram no seu conjunto uma diminuição de 6% na sua utilização.

O modo pedonal “a pé”, em 2011 apresenta uma percentagem de utilização de cerca de 16%, sofrendo da mesma forma uma descida, com cerca de 9% da população a deixar de se deslocar a pé no espaço de uma década. Esta é a maior quebra de utilização de todos os meios de transporte.

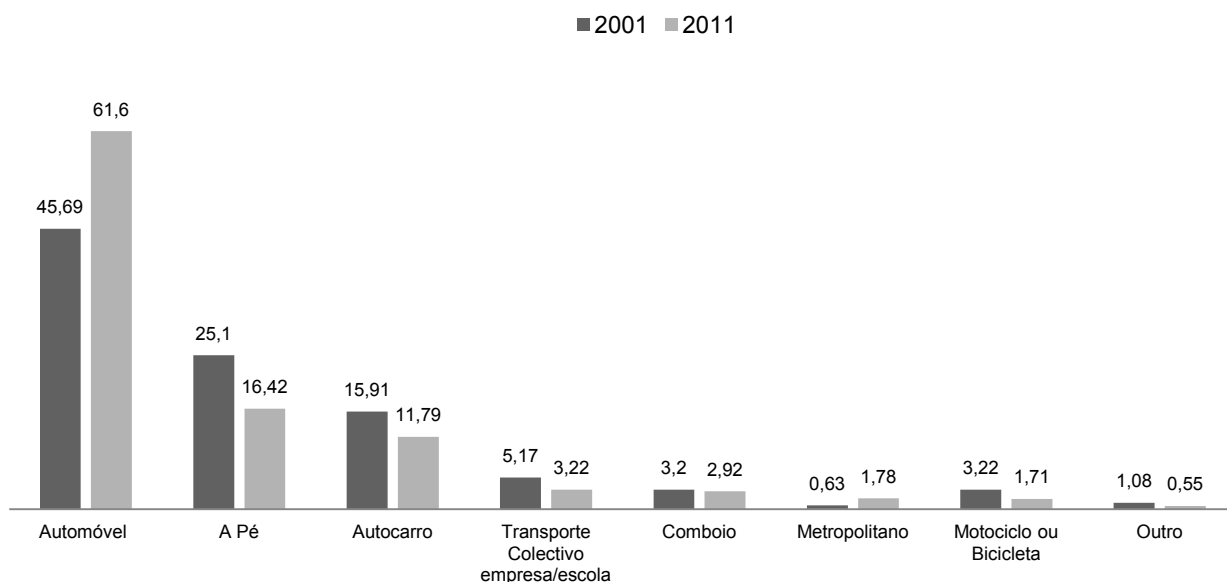


Figura 4 - Meios de transporte utilizados nos movimentos pendulares em Portugal, entre 2001 e 2011 (INE Censos, Portugal, 2001-2011).

Neste contexto de mobilidade urbana, onde o automóvel apresenta um papel dominante, com fortes custos económicos e um impacto ambiental considerável, cabe actualmente a todos optar pela utilização de modos mais sustentáveis. No entanto, para que isso possa acontecer, é necessário implementar estratégias que incentivem o uso de modos de deslocação mais sustentáveis, em alternativa ao automóvel individual (IMT, 2012). Deste modo, é preciso agir no espaço público, como por exemplo, através da criação de “Zonas 30” ou de outras medidas de acalmia de tráfego. Outra estratégia importante é potenciar a articulação dos modos suaves com a rede de transportes públicos, de modo a aumentar a conectividade e aumentar a amplitude das deslocações e assim se poder criar uma “rede de mobilidade sustentável”. Por fim uma estratégia na educação, também será importante para a formação de uma cultura de mobilidade sustentável, com o incentivo ao uso de modos suaves e transportes públicos (IMT, 2012).

2.4 MODO PEDONAL

As deslocações diárias resultam da necessidade de mobilidade por parte de pessoas e em todas as deslocações existe um elo em comum, o de andar a pé, ou seja, se existe um modo equitativo e universal de deslocação, esse é o da deslocação

a pé. Este tipo de movimento encontra-se presente na cadeia de mobilidade de grande parte da população, porque nos deslocamos sempre a pé até mesmo quando vamos para o nosso automóvel individual ou para a estação/paragem de transporte público. Assim o modo pedonal pode ser visto como um componente crítico do sistema de transportes, providenciando ligações entre casa, carro e outros destinos. Muitas vezes a melhor maneira de melhorar uma rede de transportes é melhorar a pedonalidade (Litman, 2010).

Para se caracterizar o modo pedonal, é necessário perceber alguns aspectos que influenciam o andar a pé, tais como as características do peão, a velocidade de circulação dos peões e a amplitude das deslocações pedonais.

Não existe um padrão universal das características físicas e psicológicas de um peão, mas que normalmente é caracterizado por ser uma pessoa que usufruindo da via pública, não é condutor nem passageiro (Litman, 2010). Os peões apresentam características diferentes na maneira como orientam e efectuam a sua deslocação, deste modo apresentam um comportamento um tanto ou quanto aleatório, o que leva a que sejam particularmente vulneráveis ao nível da sua segurança (Litman, 2010). No entanto existem grupos de peões que facilmente podem ser agrupados, por serem mais vulneráveis, como os idosos, crianças e pessoas com mobilidade reduzida, porque estes peões não apresentam o mesmo desempenho que em relação à generalidade dos peões (CCDR-N, 2008).

As crianças, devido à sua idade, apresentam uma reduzida estatura, o que dificulta a detecção destes por parte dos condutores. Para além disto, ainda não apresentam capacidades sensoriais e cognitivas, como a capacidade de manter a concentração, o que leva a que se distraiam com facilidade e respondam a estímulos externos de forma imprevisível (CCDR-N, 2008). Os idosos, indivíduos com idade superior a 65 anos, são um grupo de peões especiais, devido à perda da capacidade física, consequência do envelhecimento, o que leva a uma locomoção muito mais lenta, perda de reflexos, diminuição da visão e diminuição do tempo de reacção (CCDR-N, 2008). Num outro grupo de peões, com necessidades especiais, encontram-se as pessoas com mobilidade reduzida, onde estão incluídas pessoas de todas as idades, mas que apresentam por algum motivo uma deficiência ao nível físico, mental ou sensorial (CCDR-N, 2008). Incluem-se também neste grupo, aqueles que apresentam de alguma forma dificuldade em se movimentar (CCDR-N, 2008). Os peões com mobilidade reduzida caracterizam-se pela sua dificuldade de movimentos, tanto ao nível físico como sensorial (deficiência motora ou falta de visão), o que leva a

que a velocidade de deslocação destes seja inferior à dos peões normais e que necessitem de equipamentos especiais que ajudem na sua deslocação, como por exemplo, passeios com piso tátil, passeios rebaixados, avisos sonoros nas passagens de peões, entre outros (Litman, 2010). Segundo o Censos de 2001, em Portugal, cerca de 6,1% da população apresenta algum tipo de deficiência (INE, Censos 2001) enquanto que a população com mais de cinco anos com pelo menos uma dificuldade era de 17,0%, segundo o Censo de 2011 (INE, Censos 2011).

Uma das características dos peões é o espaço que estes ocupam. Considera-se que o espaço ocupado por um peão pode ser representado por uma elipse de 50 cm x 60 cm, cuja área total é de 0,30m² (Transportation Research Board [TRB] 2000) (Figura 5). Para as pessoas com mobilidade reduzida este espaço aumenta, mais especificamente para pessoas com alguma deficiência motora, em que a dimensão da cadeira de rodas leva a que a elipse passe para cerca de 70 cm x 120 cm (Crow, 1998).

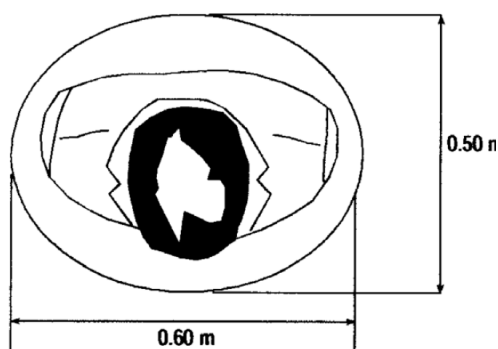


Figura 5 - Espaço ocupado por um peão (TRB, 2000).

A velocidade de deslocação do peão é outro aspecto muito importante podendo esta variar devido a factores específicos do peão como a sua condição física, o sexo e a idade, os factores internos, ou a factores externos como o estado do tempo, as condições das infra-estruturas pedonais e o declive (Figura 6). Todos os factores mencionados influenciam a velocidade de um peão, no entanto pode-se considerar que numa deslocação em superfície plana e sem obstáculo, a velocidade deste pode variar entre um mínimo de 0,75 m/s e um máximo de 2,4 m/s, considerando-se assim, 1,2 m/s a velocidade média de um peão normal (Austroads, 1988 e TRB, 2000).

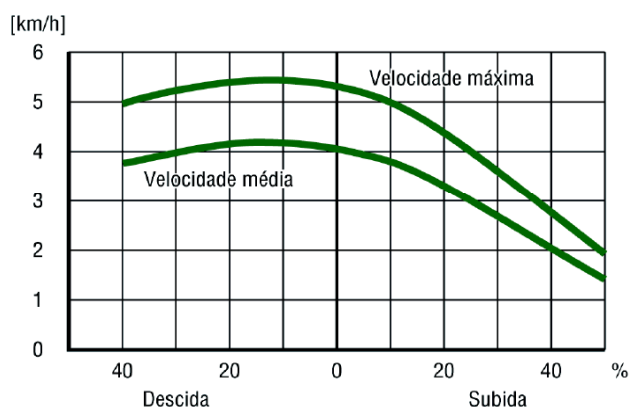


Figura 6 - Velocidade de circulação do peão influenciado pelo declive (Cahier, 1995 in Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres [IMTT], 2011, pp. 7).

A amplitude das deslocações pedonais é outro aspecto a ter em atenção na análise do modo pedonal e esta refere-se à distância aceitável para andar a pé, que varia também nos mesmos elementos apresentados na velocidade, mas também, e principalmente, com o motivo da deslocação (Figura 7).



Figura 7 - Distâncias que são aceitáveis percorrerem para determinados serviços (Burton, & Mitchell, 2006).

A amplitude das deslocações pedonais também é influenciada pelo grau de oferta de transporte público, porque uma parte muito importante destas deslocações são realizadas entre a ida e volta dos transportes públicos. Neste caso, existe uma área de influência pedonal que corresponde à extensão limite até onde o peão se encontra disposto a ir, isto é, a área de influência de uma paragem de autocarros é de

aproximadamente de 300 metros e um grande interface ou estação de metropolitano têm como área de influência do modo pedonal, entre 500m, e 1Km (Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres [IMTT], 2011).

O modo pedonal, como qualquer outro modo de transporte, apresenta um conjunto de infra-estruturas que possibilitam a circulação de peões, que constituem a chamada rede pedonal e que é constituída por três componentes:

- Espaços reservados exclusivamente a peões, onde se destacam os passeios e as áreas pedestres;
- Atravessamentos de peões. Os peões são os utilizadores mais vulneráveis de todo o sistema de transportes, principalmente nos atravessamentos que tornam mais vulnerável a segurança destes porque vão obrigar os peões a atravessar uma área onde coabitam com o tráfego motorizado;
- Áreas de interface modal, que são áreas onde existe a interligação entre modos, como o caso das estações de metropolitano.

Actualmente, com o progressivo envelhecimento da população, preocupações ambientais, procura de modos de mobilidade mais sustentáveis e a crescente crise económica, têm conduzido ao aumento do uso das deslocações a pé, o que leva a que seja necessário e urgente o surgimento de instrumentos de planeamento para este modo, para que haja uma melhoria da qualidade das deslocações pedonais, nomeadamente através da construção e reabilitação das infra-estruturas pedonais. Durante anos, o planeamento pedonal foi desprezado em detrimento dos modos motorizados, porque os decisores tomavam como garantido que sendo o modo pedonal algo natural, logo não seria necessário o seu planeamento (Litman, 2010). Alguns factores terão contribuído para isso:

- Dificil medição – dificuldade em contabilizar a informação da actividade pedonal;
- *Low status* – para o planeamento de uma cidade, o planeamento do tráfego motorizado acarreta muito mais prestígio e visibilidade que o modo pedonal, pois este pode ser usufruído por todas as camadas da sociedade;
- Baixo custo – os outros modos apresentam custos muito mais elevados de aquisição do meio e da infra-estrutura por onde se deslocam;
- Benefícios ignorados – a melhoria nas condições de saúde das pessoas, devido a uma actividade física regular, a melhoria dos espaços públicos e diminuição do congestionamento e custos no estacionamento, o que reverte numa diminuição dos encargos económicos em relação à mobilidade.

Segundo Litman (2010), apesar do planeamento convencional dar prioridade à circulação rodoviária, há muitas evidências que comprovam que as deslocações pedonais têm um papel muito importante e que as pessoas querem andar, como opção modal para as suas deslocações diárias ou mesmo com objectivos recreativos. A maior parte dos estudos não têm em consideração as viagens curtas ou sem ser para o trabalho, onde se incluem viagens por crianças, recreativas e outras não motorizadas, demonstrando assim uma sobrevalorização do modo motorizado em detrimento do pedonal (Litman, 2010). Nos centros urbanos, onde muitas vezes o transporte urbano apresenta falhas, uma das melhores maneiras de aumentar a eficiência e o potenciar, é melhorando as condições para os peões e restringindo o transporte individual, sendo por isso importante compreender como o peão se movimenta. Um conceito que surge então, é o conceito de *walkability*, que se refere à aptidão da rede de infra-estruturas poder proporcionar deslocações amigas do peão (Litman, 2010). Em geral existem factores que influenciam a aptidão do modo pedonal para os centros urbanos, como a atractividade, conectividade, conforto, legibilidade, segurança e acessibilidade (IMTT, 2011). Em síntese, há que incentivar mudanças no planeamento do espaço público, no sentido de melhorar as condições de *walkability* ou o de andar a pé na cidade.

Neste âmbito de planeamento pedonal, muitas cidades já desenvolveram planos pedonais que muitas vezes estão associados aos planos de mobilidade e transportes (IMTT, 2011). Alguns destes planos pedonais encontram-se em:

- Portland, EUA (1998) Portland Pedestrian Master Plan
<http://www.portlandonline.com/shared/cfm/image.cfm?id=90244>
- Oakland, EUA (2002) Pedestrian Master Plan
<http://www.oaklandnet.com/government/Pedestrian/PedMasterPlan.pdf>
- Londres, Reino Unido (2004) The Walking Plan for London
<http://www.tfl.gov.uk/assets/downloads/corporate/walking-plan-2004.pdf>
- Genebra, Suíça (2008) Plan Piéton de Genève
<http://www.ville-ge.ch/geneve/plan-pietons>

O modo pedonal é um modo de mobilidade sustentável e que aliado a outros modos suaves e de transporte público, traz inúmeras mais-valias para uma cidade. No entanto, para que haja um aumento da prática de andar a pé, é necessário não só intervir no território, através da melhoria das infra-estruturas pedonais e do espaço público, mas também consciencializar a população para os efeitos positivos desta actividade. Para isto, é necessário promover a prática de andar a pé nas escolas, de

modo a sensibilizar e educar as populações mais jovens sobre os benefícios de andar a pé nas suas deslocações diárias. Este é o desafio das novas gerações, de se tornarem sustentáveis em termos de mobilidade, para a melhoria do ambiente e da qualidade de vida nas cidades, porque “os peões são os glóbulos vermelhos da cidade, caso deixem de percorrer e irrigar uma rua ela entra em dificuldades, degradando-se, tornando-se insegura, gangrenando e finalmente morrendo” (Alves, 2008, p.103).

“Is GIS a tool or a science? The question is clearly important in the day-to-day operations of geography departments. Departments need to know if GIS is a tool that should be taught at the undergraduate level, or a science and thus a legitimate research specialty of faculty and graduate students”.

Dawn J. Wright, 1997³

3. OS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

3.1 SIG FERRAMENTA OU CIÊNCIA

Quando Roger Tomlinson, na década de 1960, definiu pela primeira vez o conceito de Sistema de Informação Geográfica (SIG), este estava longe de imaginar o desenvolvimento que este sistema de informação teria (Coppock, 1991). Com o passar do tempo foram surgindo duas questões principais. Uma primeira sobre a definição dos SIG, não havendo ainda uma definição consensual e universal, e uma outra questão, mais recente, sobre se os SIG são uma ferramenta ou se evoluíram para serem considerados, hoje em dia, uma ciência.

Os SIG são definidos por serem uma tecnologia que armazena, gere, manipula e visualiza informação georreferenciada (Maguire, 2008; Aronoff, 1989), ou seja, é um conjunto de ferramentas que manipula dados do mundo real para determinados propósitos (Burrough, 1986). Surgem na bibliografia inúmeras definições sobre o conceito de SIG. Esta diversidade de definições de SIG deve-se, em grande parte, ao carácter multi-disciplinar que os SIG apresentam, como um sistema de apoio à decisão, em diferentes domínios científicos, que utilizam dados espacialmente referenciados para a resolução de problemas (Cowen, 1988). No entanto, tirando o lado perverso da multidisciplinaridade, a aplicação em diferentes domínios do conhecimento contribuiu para o crescimento dos SIG como ferramenta de apoio à decisão (Eastman *et al.*, 1993). Este crescimento foi também sustentado com a evolução computacional, com o aumento do processamento da informação, armazenamento da informação e das novas capacidades de visualização da informação, o que levou a questionar se os SIG, na sua utilização transversal e cada vez mais recorrente, seriam ainda uma ferramenta ou se já teriam atingido o estatuto de ciência (Wright, 1997).

³ Wright et al. (1997, p. 346)

A ciência, termo proveniente do latim da palavra *scientia*, preocupa-se com a descoberta e organização do conhecimento (Maguire, 2008). Neste sentido, os SIG podem representar um novo tipo de ciência em vez de serem uma ferramenta, que é uma visão muito redutora, pois englobam também a maneira como a informação geográfica é recolhida, gerida e analisada (Wright, 1993), o que levou ao desenvolvimento de teorias e algoritmos para modelação e análise espacial. Neste contexto surgem dois termos que descrevem os SIG como ciência. A geomática, termo mais utilizado na Europa e no Canadá e a ciência da informação geográfica (CIG), termo especialmente difundido por Michael Goodchild que defendia que os SIG precisavam de ter uma componente científica e intelectual forte, senão poderiam não passar de uma tecnologia de curta duração (Wright, 1993).

A ciência da informação geográfica encontra-se especialmente preocupada com os conceitos geográficos, nos elementos usados para descrever, analisar e modelar os fenómenos distribuídos na superfície terrestre (Goodchild, 1992). A ciência da informação geográfica tem por função ajudar no desenvolvimento e melhoria dos softwares SIG, bem como apoiar a investigação científica feita com a ajuda da utilização destes (Goodchild, 1992). Por outro lado Petican (*in* Wright, 1993) afirma que os SIG querem possuir um rótulo de ciência, para atrair mais dinheiro e melhorar o *status* dos utilizadores de SIG. Segundo Laffey (*in* Wright, 1993), apesar das várias visões, os SIG podem ser vistos como uma ferramenta da mão e da mente, uma tecnologia para a resolução de problemas com expressão espacial. Tal como um microscópio é uma ferramenta para um biólogo, os SIG podem ser vistos como a ferramenta de um geógrafo ou de todos aqueles que estudam e analisam o território, ou seja, o que distingue os SIG de outros sistemas de informação, é a Geografia (Wright, 1993). Debates sobre a ambiguidade dos SIG como ciência ou ferramenta, proliferam entre os autores de referência, mas a ideia de SIG como uma ferramenta é ainda comum para muitos utilizadores.

Na perspectiva dos SIG como uma ferramenta, é necessário perceber quais são as componentes que os integram e que fazem que este seja actualmente uma importante ferramenta de gestão e apoio à decisão.

3.2 COMPONENTES DE UM SIG

Os SIG, como Sistema de Informação, apresentam cinco componentes essenciais que são o *hardware*, o *software*, os dados, os métodos e os utilizadores como componente humana (González *et al.*, 2012). Um bom Sistema de Informação Geográfica só consegue ser funcional se estas cinco componentes trabalharem em consonância e de forma assertiva e objectiva. Com o desenvolvimento das capacidades do *hardware*, que tem vindo a ocorrer nos últimos anos, há agora a possibilidade de um aumento da capacidade de armazenamento de dados, aumento da capacidade de leitura dos mesmos veio permitir a expansão dos SIG (González *et al.*, 2012).

O *software*, como segundo componente dos SIG, vai permitir manipular, gerir e analisar os dados (González *et al.*, 2012) que, aliado à melhoria do *hardware* e à diminuição dos preços destes, levou a uma expansão dos programas SIG e ao surgimento de grandes companhias comerciais, como a *ESRI* e a *Integrgraph*. Para além destes acontecimentos, o aumento da procura e da busca do conhecimento levou à criação de grupos que desenvolveram os seus próprios *softwares* em código aberto, isto é, têm vindo a surgir gradualmente *softwares* de SIG *open source* que cada vez mais se apresentam como uma alternativa aos SIG comerciais, contribuindo para a generalização da utilização dos SIG (González *et al.*, 2012).

Os dados, são o terceiro componente, contêm a informação georreferenciada, que vai ser analisada e armazenada. Sendo a componente mais dispendiosa na implementação de um SIG, estimando-se que 70% dos custos de um projecto SIG se referem à aquisição da informação georreferenciada (Rowley & Gilbert, 1989).

Os métodos são o conjunto de práticas, procedimentos e de análises em SIG, que possibilitam obter resultados mais consistentes e admissíveis a partir de um SIG (González *et al.*, 2012).

Por fim, a componente humana, que se refere aos técnicos de diferentes níveis, é a componente mais instável para o sucesso ou insucesso de um SIG. Isto porque depende de vários factores como a experiência, área de formação e disponibilidade, entre outros aspectos, que condicionam o funcionamento e a fiabilidade de um SIG (González *et al.*, 2012).

3.3 MODELOS DE DADOS ESPACIAIS

Para modelar um fenómeno do mundo real num SIG, é preciso simplificar a realidade que é complexa e apresenta demasiada informação para os objectivos de modelação. Para isso, é necessário criar mecanismos e metodologias que simplifiquem a realidade (Burrough & McDonnell, 1998).

Os dados espaciais ou dados geográficos apresentam características diferentes de outros tipos de dados de informação, uma vez que incluem a localização espacial de um determinado fenómeno (Galati, 2006). Podem ser armazenados em base de dados, possibilitando a melhor organização da informação e o aumento da complexidade, com a atribuição de campos descritivos a estes dados. São estes dados que vão ser a fonte de alimentação de um SIG e a partir destes pode-se criar nova informação realizando-se análises espaciais ou gestão e inclusão de nova informação (Galati, 2006).

Nos modelos de dados espaciais existem duas formas de simplificação e de generalização o mundo real (Figura 8), o modelo de dados vectorial e o modelo *raster* ou matricial (Galati, 2006).





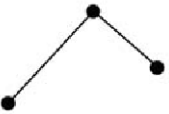
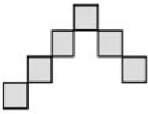
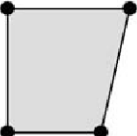
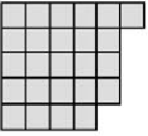
Feature	Vector Model	Raster Model
Point		
Line		
Polyline		
Polygon		

Figura 8 - Modelos de dados espaciais: Modelo Vectorial e Modelo Raster (Galati, 2006).

3.3.1 MODELO DE DADOS VECTORIAL

O modelo de dados vectorial representa a informação do mundo real a partir de três tipos de objectos pontos, polígonos e linhas. Estes objectos são representados num sistema cartográfico e cada um apresenta coordenadas únicas, que permitem que esta informação gráfica se encontre codificada por uma sequência de pontos coordenados X, Y (Burrough & McDonnell, 1998). Uma das características mais importantes deste tipo de modelo de dados, é a possibilidade de atribuir vários atributos a um determinado objecto, isto é, podemos atribuir diferentes características a um objecto.

Uma das vantagens deste tipo de modelo de dados é a facilidade na manipulação geométrica, devido a cada objecto geográfico apresentar fronteiras fixas, o que leva também a uma maior exactidão no posicionamento da entidade (Burrough & McDonnell, 1998). Para além destes aspectos, também existem vantagens na análise por selecção de entidade, através da facilidade de se estimar directamente as grandezas que a entidade apresenta, mas principalmente no armazenamento da informação, que ocupa relativamente pouco espaço quando em comparação com o modelo de dados matricial (Burrough & McDonnell, 1998).

O modelo de dados vectorial divide-se entre aqueles que apresentam uma estrutura topológica e não topológica ou cartográfica. No primeiro caso estas vão armazenar relações topológicas, isto é, a informação armazenada vai ter em conta as relações entre os objectos, apresentando características como conectividade e contiguidade dos objectos, linhas, pontos, polígonos (Ramos, 2000), neste caso as estruturas topológicas podem ser uma estrutura de dados do tipo arco-nó ou uma rede irregular de triângulos (Ramos, 2000), enquanto na estrutura cartográfica apenas é armazenada a geometria, ou seja, as coordenadas (Ramos, 2000).

Quando uma estrutura vectorial é do tipo arco-nó, para além de gravar a informação das coordenadas de todos os vértices, também vai armazenar a informação topológica, ou seja, é armazenada a informação topológica das linhas, dos pontos e dos polígonos (Ramos, 2000). Esta informação permite perceber qual é o ponto de origem e o ponto final, bem como a direcção da linha, sendo esta uma informação muito útil, porque permite realizar análises espaciais (Burrough & McDonnell, 1998).

A rede irregular de triângulos (Figura 9) é uma estrutura normalmente utilizada em aplicações que envolvem a modelação de terreno (Matos, 2008). No caso do

modelo digital de terreno (MDT), a rede é construída a partir de uma série de pontos, com uma cota conhecida e que são triangulados com recurso ao método mais comum o de triangulação de Delaunay, em que os pontos mais próximos se vão ligando e assim dão origem ao modelo da superfície terrestre segundo o conjunto de pontos iniciais (Burrough & McDonnell, 1998).

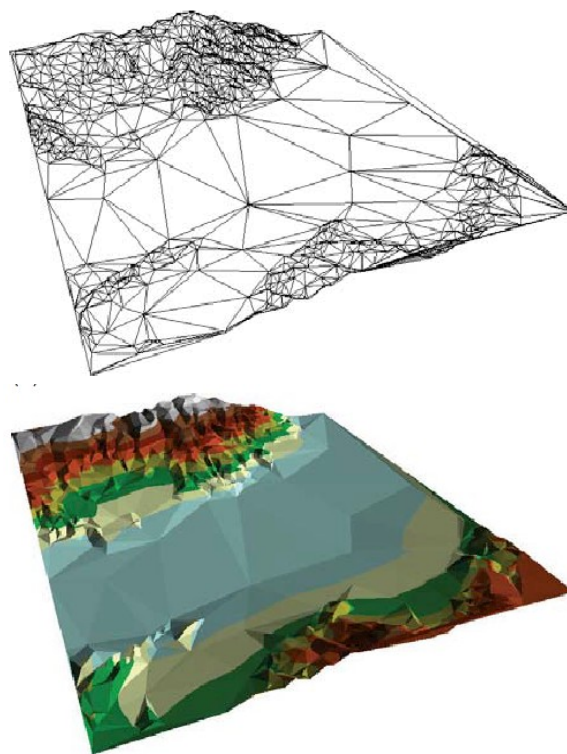


Figura 9 - Rede de triângulos irregular, TIN (Longley *et al.* 2005).

Quando a representação dos objectos vectoriais se cinge apenas às coordenadas cartesianas dos pontos, polígonos ou linhas, sem qualquer abordagem na especificação das relações de vizinhança ou atenção nas regras topológicas, então estamos na presença de um estrutura cartesiana não topológica, que pode ser do tipo *spaghetti* ou dicionário de vértices (Ramos, 2000). Na Figura 10 está representada uma estrutura vectorial do tipo *spaghetti* e neste caso os objectos vão ser registados através das coordenadas dos pontos. Deste modo, o objecto A apresenta as coordenadas (x,y) 3,2, o objecto B que é uma linha, apresenta as coordenadas 1,5 ; 3,5 ; 5,3 ; 8,2 e o terceiro objecto, um polígono, tem os pontos das coordenadas em 5,7; 8,6; 8,4; 5,5; 5,7; 5,10; 9,8; 8,6; 5,7; 4,9; 5,10. Uma das desvantagens desta representação é a de armazenar muita informação redundante, devido à repetição das coordenadas dos pontos e dos polígonos (Ramos, 2000). Este tipo de estruturas é habitualmente utilizado em programas de desenho assistido por computador.

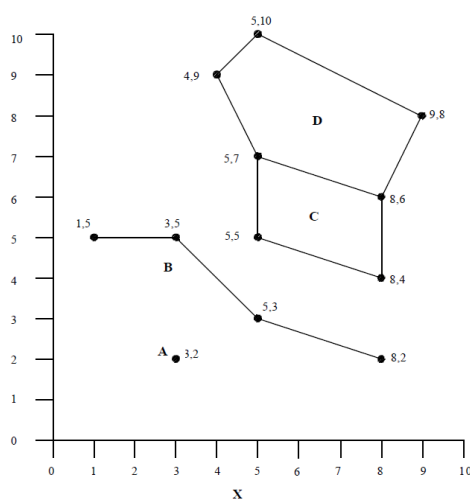


Figura 10 - Estrutura de dados vectoriais do tipo "Spaghetti" (Ramos, 2000).

Outra forma de armazenar a informação vectorial é através de um dicionário de vértices (Figura 11), em que cada objecto é identificado pelos vértices que o definem, diminuindo assim a informação redundante que acontecia na estrutura *spaghetti*.

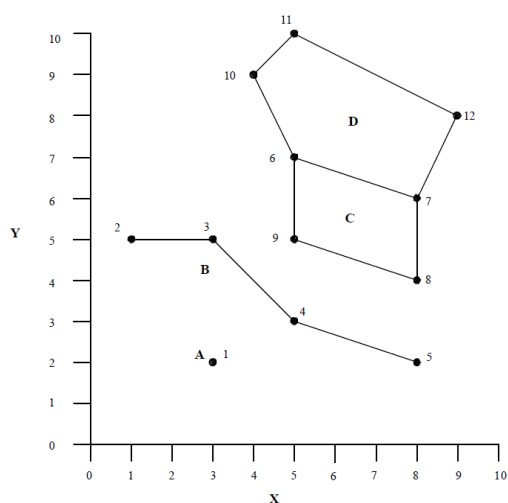


Figura 11 - Estrutura dos dados vectoriais por dicionário de vértices (Ramos, 2000).

3.3.2 MODELO DE DADOS RASTER

O modelo de dados *raster*, ao contrário do modelo vectorial, representa o espaço a partir de uma matriz composta por colunas e linhas, que definem uma unidade mínima que se denominam por células ou, de forma comum, *pixels* (Easson, 1999). O termo *pixel* provém das palavras *picture element* e define os elementos mais pequenos em que se divide um *raster*. Apenas três formas geométricas regulares proporcionam uma cobertura total sem deixar espaços na superfície espacial e são estas do tipo triangular, hexagonal e, a mais utilizada, do tipo quadrangular (Figura 12) (Star & Estes, 1991).

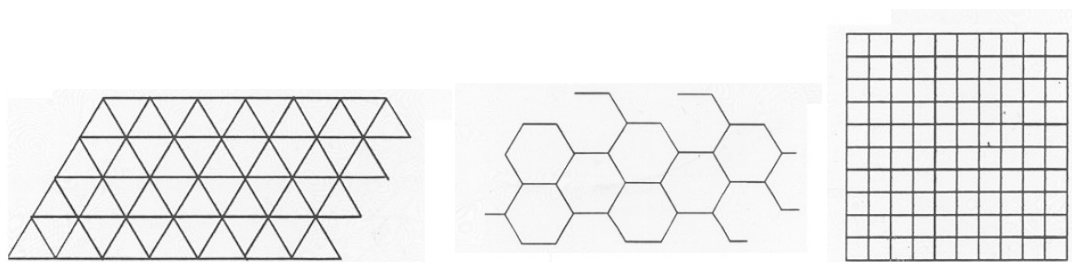


Figura 12 - Formatos das células raster, triangulares, hexagonais ou quadrangulares (Star & Estes, 1991).

As representações *raster* são principalmente caracterizadas por cinco características, a resolução, valor, localização, zona e classe (Ramos, 2000). A resolução (Figura 13), é a característica mais importante e diz respeito à dimensão que cada célula vai representar, dependendo desta o maior ou menor nível de detalhe que está relacionado com a escala que se pretende na representação do espaço (Easson, 1999). Quanto maior for a resolução, maior vai ser o rigor, que se reverte num aumento do número de células e consequentemente num aumento significativo do armazenamento da informação. O valor corresponde à informação que cada célula representa daquela área do mundo real, tendo cada célula um único valor que pode ser do tipo número inteiro, número real ou alfanuméricos (Galati, 2006). A localização das células é identificada por um par de coordenadas (linha e coluna), mas geralmente são apenas conhecidas as coordenadas geográficas dos cantos da malha, porque basta esta informação para localizar todas as outras células da malha. Os conceitos zona e classe estão relacionados, porque a zona representa as células que apresentam o mesmo atributo, logo vão representar a mesma classe de valores de um atributo (Ramos, 2000).

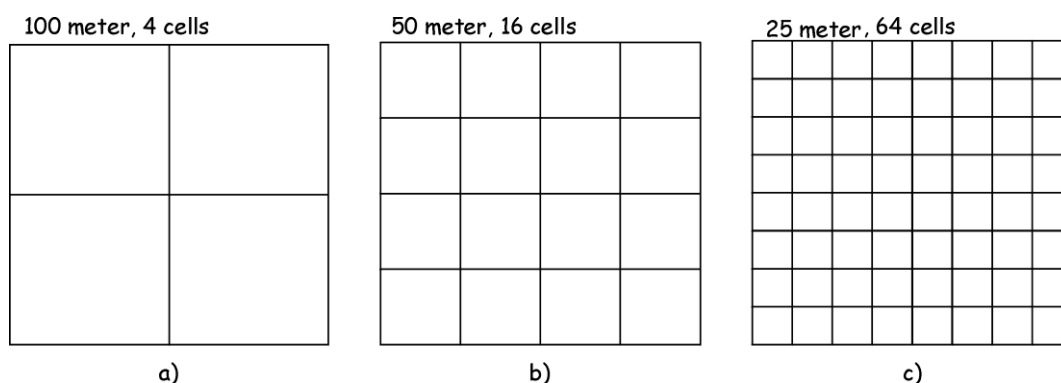


Figura 13 - Resolução espacial e consequente número de células no modelo de dados *raster* (http://www.indiana.edu/~gisci/courses/g338/lectures/introduction_raster.html).

O modelo de dados dados *raster* apresenta vantagens na representação de fenómenos de natureza espacial contínua. Esta vantagem deve-se em grande parte à facilidade da uniformização do espaço, podendo assim proceder-se a vários tipos de análise espacial, como por exemplo análises de sobreposição e reclassificação ou análises de vizinhança (Kemp, 2008).

Por outro lado, o modelo de dados *raster* apresenta algumas desvantagens, na representação dos elementos geográficos não sendo semelhantes à representação dos elementos no modelo da dados vectorial porque o espaço geográfico é dividido em células uniformes, o que configura numa dificuldade em determinar as fronteiras dos objectos que se pretendem representar (Figura 14). Outras desvantagens encontram-se no espaço que estes dados ocupam, pois acumulam informação sobre cada célula, que obrigatoriamente tem um registo de informação.

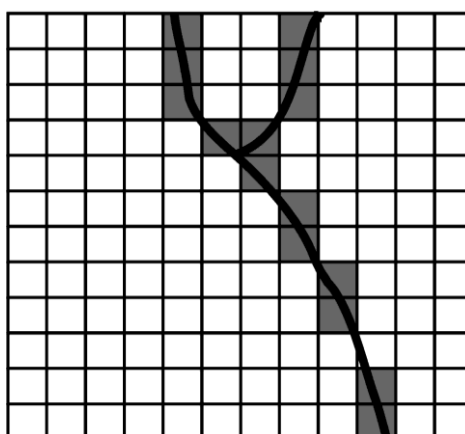


Figura 14 - Erros na conversão de objectos vectoriais para *raster* (http://www.indiana.edu/~gisci/courses/g338/lectures/introduction_raster.html).

3.4 ANÁLISES ESPACIAIS EM SIG

Nos pontos anteriores discutiu-se o conceito de SIG, as suas componentes e o modelo de dados que utilizam, é, no entanto, necessário perceber a forma como é possível desenvolver algumas análises em SIG. Neste subcapítulo será abordada a temática da análise espacial em SIG.

Alguns métodos de análise espacial hoje utilizados foram desenvolvidos muito antes do surgimento dos SIG. Foram realizados manualmente através da utilização de ferramentas mais primitivas, que permitiram a construção de mapas temáticos que se viriam a revelar, muito mais úteis e informativos (Longley *et al.*, 2005). Um exemplo clássico é o mapa do Dr. Snow, sobre as ocorrências de cólera em Londres.

Em 1854, o Dr. John Snow fez algo de revolucionário ao ter percebido, a partir da análise da informação geográfica como se propagava a cólera que assolou Londres entre 1831 até finais da década de 1850 (Galati, 2006). Nesta altura a proliferação da cólera era mal compreendida e a ocorrência de surtos de cólera em grandes cidades industriais era comum. O Dr. Snow colocou a hipótese de a cólera ser transmitida através do consumo da água em vez do ar, que era a hipótese mais defendida no meio científico da altura. Para defender a hipótese de propagação pela água, decidiu monitorizar e localizar as mortes por cólera num mapa de Londres (figura 15), cidade que tinha registado mais de quinhentas mortes em dez dias. Com esta localização ele percebeu que o surto de cólera era proveniente de uma bomba de água em Broad Street e para confirmar a sua hipótese a bomba foi encerrada tendo com isto diminuído a incidência de cólera (Johnson, 2006).

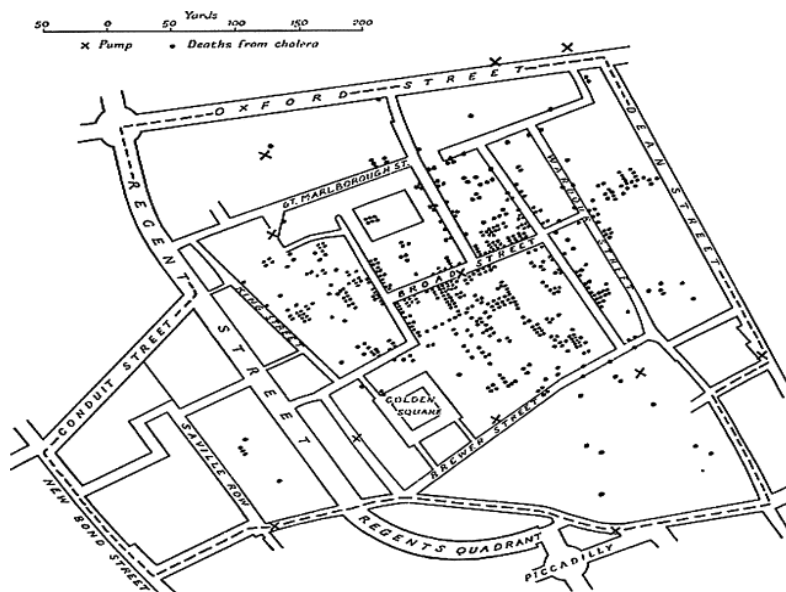


Figura 15 - Mapa da localização das ocorrências de cólera (Johnson, 2006).

Antes de se conhecer que tipos de análise espacial são possíveis de desenvolver através da utilização dos SIG, é necessário definir o conceito de análise espacial, que se entende por ser um conjunto de procedimentos com a finalidade de explorar e analisar os dados espaciais (Gonzalez *et al.* 2012; Longley *et al.* 2005). Esta análise é denominada espacial em vez de geográfica porque, analisa os dados em qualquer espaço, não se cingindo apenas ao espaço geográfico (Longley *et al.*, 2005). Não é uma análise necessariamente complexa, pois pode ser um processo de simplificação da realidade, para demonstrar aspectos que fogem ao olhar do mais atento dos utilizadores ou seja, a análise espacial pode ser vista como um processo de transformação de dados brutos em informação útil (Galati, 2006; Longley *et al.*, 2005). Em grande medida os métodos de análise espacial baseiam-se em dois aspectos principais, nos algoritmos matemáticos, que muitas vezes transcrevem a complexidade matemática num indicador da importância da análise (Longley *et al.*, 2005) e na primeira lei da geografia de *Waldo Tobler*, “everything is related to everything else, but near things are more related than distant things.”⁴.

Assim, a análise espacial é a chave de qualquer projecto em SIG, porque neste se encontram as maiores potencialidades dos SIG (Longley *et al.*, 2005), mas há que perceber que a forma de abordar a análise espacial difere dos modelos de dados vectorial e raster.

Segundo Longley *et al.* (2005), é possível realizar seis tipos de análise espacial: consultas, medições, transformações, sumários descritivos, técnicas de optimização e testes de hipóteses.

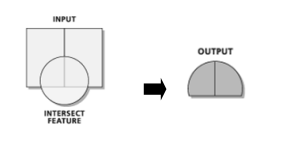
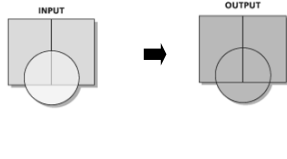
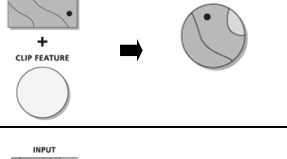
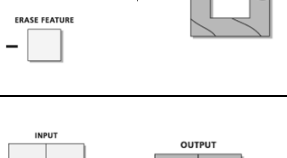
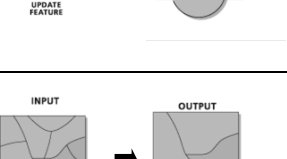
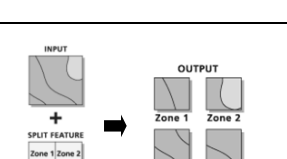
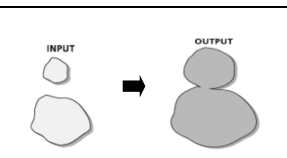

3.4.1 ANÁLISE ESPACIAL EM AMBIENTE VECTORIAL

São diversas as análises que se podem realizar no modelo de dados vectorial e estas funções de análise podem ser de sobreposição, proximidade, de extracção ou fusão, de redes e de estatística (Matos, 2008).

No Quadro 2 sintetizam-se algumas das operações de análise espacial na estrutura de dados vectoriais mais utilizados.

⁴ TOBLER, Waldo (1970) “A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography*”. *Proceedings of the International Geographical Union. Commission on Quantitative Methods*, 46: 234-240 in MORGADO, P. (2010)

Quadro 1 - Funções de análise espacial utilizados no modelo de dados vectoriais (Adaptado de ESRI, 2012a).

	Operações de análise	Características
	Intersecção	Consiste na sobreposição de dois inputs e o output é somente a zona de sobreposição entre ambos.
	União	Utilizado para sobrepor dois inputs e manter todos os atributos e geometria originais no output final.
	Cortar	No clip é utilizado somente a forma exterior de um input para eliminar/cortar a área de outro input
	Apagar	Consiste numa intersecção geométrica dos temas de input e corte exterior pelo tema cortante
	Actualização	Consiste numa intersecção geométrica das entidades de input e entidades update
	Agregação	No output são agregados todos os polígonos que tenham o mesmo valor no atributo designado para a agregação.
	Partição	Habitualmente utilizada para dividir um tema em subconjuntos
	Buffer	Operação aplicada a todos os objectos vectoriais, gera um objecto do tipo polígono com uma a uma distância pretendida dos elementos do objecto original

Não obstante, é possível realizar análises vectoriais mais complexas como é o caso da análise de redes, que será posteriormente desenvolvida num capítulo dedicado a esse tipo de análise.

3.4.2 ANÁLISE ESPACIAL EM AMBIENTE RASTER

Como referido anteriormente, o modelo de dados *raster* é mais simples que o vectorial, pois o facto de se estruturar segundo um conjunto de células regulares, facilita a realização de diferentes funções de análise espacial que podem ser do tipo focais, zonais, globais e locais (Kemp, 2008).

As funções focais têm em consideração o valor de uma célula isolada, mas também os valores das células situadas na vizinhança e por isso, são também denominadas operações de vizinhanças, que envolvem uma janela de píxeis em torno de uma célula e estas calculam valores que dependem da variabilidade geográfica, como por exemplo, o declive ou a orientação de vertentes (Matos, 2008). As funções zonais são realizadas em zonas contíguas de píxeis. Operações em regiões envolvem um conjunto de píxeis com o mesmo atributo utilizados para determinar valores geométricos como a área e perímetro (Matos, 2008). As Funções globais são realizadas em todos os píxeis, por isso são operações em toda a extensão (Matos, 2008).

Nas funções locais estas não têm em conta a relação de cada célula com as restantes, considerando cada célula isoladamente e por isso, o resultado destas é uma nova imagem cujo valor de cada célula depende do valor que esta anteriormente apresentava (Ramos, 2000). Dentro das funções locais existem as funções de sobreposição, reclassificação e estatísticas.

Nas funções de sobreposição (Figura 16), a imagem vai ser gerada a partir de outras imagens que vão ser combinadas segundo operadores aritméticos ou condições lógicas (Ramos, 2000). No caso de se aplicar operadores aritméticos na imagem, este vai agregar os valores célula a célula através de uma expressão matemática, tal como se pode observar na Figura 16, que representa a sobreposição a partir de um operador matemático, em que se soma a imagem A e B. No caso de operadores lógicos, esta vai utilizar condições lógicas e os mais utilizados são o AND, OR, NOT E XOR.

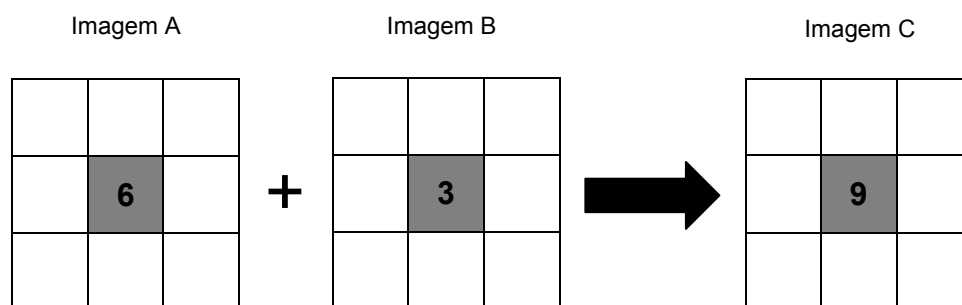


Figura 16 - Sobreposição de imagens *raster* (Adaptado Matos 2008).

No caso da reclassificação de imagens (Figura 17), vai consistir na alteração dos valores de uma imagem originando uma nova. Em cada célula da nova imagem vai ser atribuído um valor que está directamente relacionado com o valor da célula na imagem original (Ramos, 2000). A reclassificação pode se realizar a partir de variáveis qualitativas ou variáveis quantitativas. No caso de qualitativas estas podem apenas alterar os valores numéricos que as células possuem, recorrendo a classes, no caso das quantitativas podem-se agregar classes. Caso haja reclassificação por uma variável quantitativa, o valor das células da nova imagem vai resultar dos intervalos definidos pelo utilizador ou de uma forma automática, a partir de operações matemáticas (Ramos, 2000).

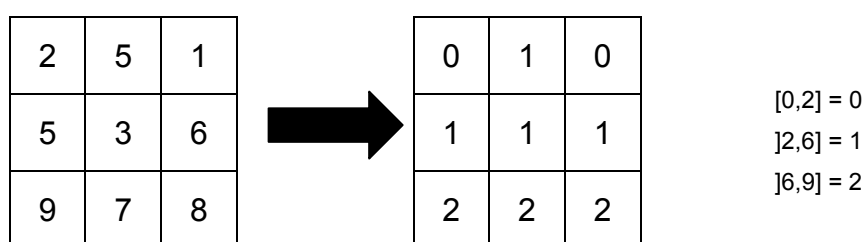


Figura 17 - Reclassificação de imagens *raster* (Adaptado Matos, 2008).

Utilizando uma função estatística, a nova imagem vai ser resultante da aplicação desta sobre os elementos das células do conjunto das imagens (Figura 18) e podem-se realizar funções estatísticas de cálculo do mínimo, máximo, média ou mediana (Matos, 2008). Na figura 18, a imagem C é o resultado da média da imagem A e B.

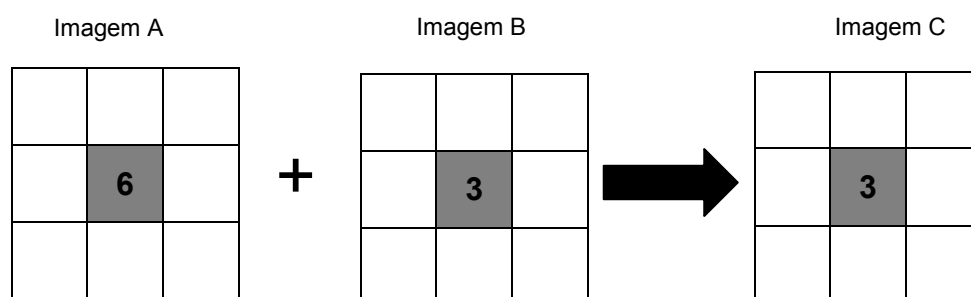


Figura 18 - Cálculo da média local em imagens *raster* (Adaptado de Matos, 2008).

“As redes são onnipresentes nas nossas vidas (Barabási, 2003). Desde as redes sociais, as redes empresariais, as redes de internet até as redes físicas, como as redes rodoviárias e ferroviárias, as redes constituem uma forma universal de representar diversos fenômenos da realidade, com ou sem expressão espacial.”

Paulo Morgado 2010⁵

4. ANÁLISE DE REDES

As diversas análises espaciais presentes nos SIG apresentam importantes vantagens na análise e modelação de redes, que podem ser realizadas no modelo de dados vectorial ou *raster* (Husdal, 2000), no entanto, nesta dissertação vai-se apenas apresentar em maior detalhe, no modelo vectorial.

Numa revisão bibliográfica, o conceito de rede pode-se definir como um conjunto de linhas interconectadas que permitem representar a circulação ou movimento de um transporte, pessoas, bens, comunicações entre outros (Kemp, 2008; Gonzalez, 2012) ou por um conjunto de elementos conectados entre si, onde é possível simular o movimento de acordo com determinadas condições pré definidas (Miller & Shaw, 2001). Assim um dos termos comuns é o movimento, a deslocação de algo sobre uma estrutura, e neste caso as linhas são os canais por onde essa deslocação se realiza, e os pontos são onde se inicia e termina o fluxo do movimento (Miller & Shaw, 2001). Este deslocamento pode ainda ser alvo de impedimento ou seja, pode existir um factor de resistência ou atrito ao movimento na rede.

Neste capítulo serão abordados três pontos, focando-se a Teoria dos Grafos para compreensão da pertinência que os Grafos têm na construção e na análise de redes, num segundo ponto vai-se procurar compreender a construção de uma rede a partir de um *software* SIG e por fim, as principais análises de redes realizadas no âmbito desta dissertação.

4.1 TEORIA DOS GRAFOS

O estudo das redes é proveniente de uma sub-disciplina da matemática, que é denominada Teoria dos Grafos, que estuda a topologia das redes (Kemp, 2008). É

⁵ Morgado (2010, p.1)

aplicada num vasto conjunto de domínios do conhecimento, desde os campos da computação gráfica, à gestão de projectos, entre outros (Matos, 2008).

A teoria dos grafos teve a sua génese no problema das pontes de *Königsberg* (Betsy George *in* Shekhar, 2008), cidade da Prússia Oriental por onde passa o rio Pregel e onde estão duas ilhas servidas por pontes (Figura 19). O desafio que se formou questionava se alguém era capaz de descobrir se seria possível percorrer toda a cidade começando num ponto qualquer, passando por todas as pontes, mas sem repetir nenhuma (Morgado, 2010).

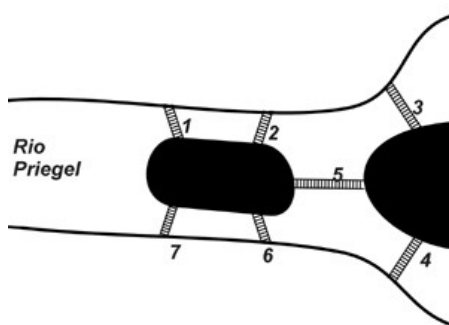


Figura 19 - As 7 pontes de Königsberg sobre o rio Pregel (Shekhar, 2008).

A solução foi proposta pelo matemático Suíço Leonhard Euler (Betsy George *in* Shekhar, 2008; Morgado, 2010), que conceptualizou o fenómeno num diagrama, designado mais tarde por grafo, em que os nós representavam as áreas e as pontes os arcos que ligavam os nós entre si (Figura 20). Deste modo, Euler provou que não existia nenhuma solução para o problema, com base no número de pontos que ligavam cada área (Betsy George *in* Shekhar 2008). Este problema seria o início da denominada Teoria dos grafos (Betsy George *in* Shekhar 2008).

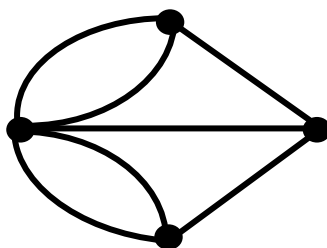


Figura 20 - Grafo Euleriano (Adaptado Shekhar, 2008).

Formalmente um grafo (Figura 21) define-se como uma representação gráfica de uma rede. Graficamente, um Grafo (G) é um conjunto de vértices (V), ligados por linhas (L) ou seja, $G=V, L$ (Rodrigue *et al.* 2006). O conceito de grafo é facilmente perceptível pela representação esquemática da rede de metropolitano em que as estações, os nós, são ligadas por segmentos de recta, os arcos. Neste tipo de

representação, a geometria é ignorada e as ligações apresentam distâncias que podem não representar a distância real entre estações e a posição das estações pode também não representar a posição real destas (Matos, 2008), mas sim distâncias e localizações relativas.

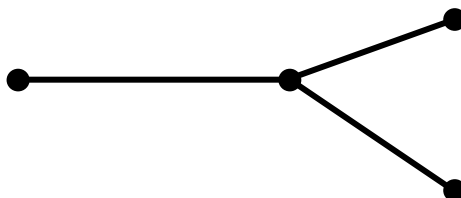


Figura 21 - Representação de um grafo.

Em relação aos termos empregues na teoria dos grafos a bibliografia é dispersa, devido ao uso por parte de outras ciências na aplicação desta teoria, existindo alguma confusão na utilização de certa terminologia, provocando muitas vezes a multiplicação de termos e incoerência no uso dos mesmos, assim como uma certa leviandade na terminologia utilizada (Haggett & Chorley, 1969). Assim, os vértices também são denominados por nós (termo utilizado para definir os vértices a partir de agora). As linhas que ligam os nós são denominadas por arcos (termo utilizado para definir as linhas a partir de agora).

Alguns elementos da teoria dos grafos não estão associados às características espaciais, como a forma ou o comprimento, mas sim com os atributos topológicos (Curtin, 2007) *é a topologia que sobreleva, não a geografia* (Morgado, 2010, p.17). Portanto, propriedades como conectividade e adjacência são características importantes de um grafo, pois vão servir como base para análise e medição de redes. Estas análises podem ser simples, desde a análise de um nó, até às mais complexas baseadas em características estruturais da rede (Curtin, 2007).

Assim dependendo da aplicação, os grafos podem ainda ser diferenciados entre grafos planares e grafos não planares. No caso de serem planares estes encontram-se no mesmo plano, quando os arcos se cruzam formam necessariamente um nó na rede (Kansky, 1963). Nos não planares, o grafo que encontra-se em dois ou mais planos (Kansky, 1963) ou seja, no caso de ocorrer um cruzamento entre dois arcos que não estão no mesmo plano, não existe a constituição de um nó na rede, uma vez que constitui uma projecção de uma estrutura a mais de duas dimensões num plano. Esta característica é importante porque vai-se considerar que as intersecções se realizam em planos distintos, permitindo assim movimentos sob a rede, como é o caso dos exemplos clássicos de quando existem viadutos, pontes ou túneis (ESRI, 2012b).

No entanto, existem outros conceitos importantes que são necessários definir (Morgado, 2010):

- Distância topológica – é a distância entre os nós e é medida a partir do número de arcos que os separam.
- Ordem – número total de nós
- Dimensão – número total de arcos
- Caminho – percurso em que não existe a repetição de nenhum nó.
- Circuito – é um caminho que se inicia e termina no mesmo nó, sem repetir a passagem duas vezes pelo mesmo arco.
- Rede em árvore – rede onde não existem circuitos
- Circuito euleriano – circuito que permite percorrer todos os nós e arcos pelo menos uma vez
- Conectividade – consiste na existência de ligação entre lugares, neste caso ligação entre nós.
- Número associado ou índice de König de um nó – é a distância topológica de um nó, ao nó mais afastado topologicamente na rede, considerando o caminho-mais-curto.

Assim, a partir de um grafo pode-se proceder a análises sobre as medidas de conectividade e de ligação, que permitem perceber e descrever a estrutura de um grafo (Haggett & Chorley, 1969). A partir do cálculo das matrizes do grafo, é possível analisar as propriedades topológicas dos grafos (Morgado, 2010) e assim determinar-se as medidas de acessibilidade e de centralidade, que permitem caracterizar e diferenciar os nós de um grafo.

Apesar de não interessar desenvolver aqui as medidas que podem ser determinadas a partir das medidas de conectividade e de acessibilidades, é no entanto importante mencioná-las (Quadro 2).

Quadro 2 – Medidas de análise em redes (Morgado, 2010).

<p>Medidas de Conectividade e de ligação</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Número Máximo e Mínimo de Ligações • Índice Beta (β) • Número ciclomático (μ) • Índice alfa (α) • Índice gama (γ) • Índice Gama de <i>Kansky</i> • Índice de <i>Zagorson</i> (Z)
<p>Medidas de acessibilidade e centralidade</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Número associado ou Índice de <i>König</i> • Nó Central • Diâmetro da Rede • Distância topológica • Índice de acessibilidade de <i>Shimbel</i> (ac), • Índice de dispersão (d)

4.2 CONCEPÇÃO DE UMA REDE A PARTIR DO MÓDULO NETWORK ANALYST

A partir da teoria dos grafos lançaram-se as bases para a representação e análise de redes. Um dos modelos mais utilizados para a concepção destas, é o modelo arco-nó (Miller & Shaw, 2001) que tal como na teoria dos grafos, vai ter entidades pontuais (nós) e as entidades de ligação, as linhas (arcos), sendo um modelo muito utilizado na construção de redes de transportes (Miller & Shaw, 2001). No âmbito desta dissertação foi conceptualizada uma rede a partir de um software de SIG, o *ArcGIS*, que possui um módulo de análise de redes, o *Network Analyst*, que permite conceber redes e posteriormente realizar análises sobre a rede, para solucionar problemas (ESRI, 2012b).

Uma característica importante na concepção de redes, em SIG, é a possibilidade de as suas entidades ou elementos serem armazenadas numa base de dados relacional, o que vai atribuir obrigatoriamente um identificador (*ID*) a cada nó e arco (Goodchild, 1998). Os arcos vão possuir um identificador referente a cada nó de origem e de destino - FNode; TNode - (Goodchild, 1998), como se encontra representado na Figura 22, permitindo assim modelar o aspecto direccional dos arcos ou seja, se cada arco apresenta um sentido único ou um duplo sentido.

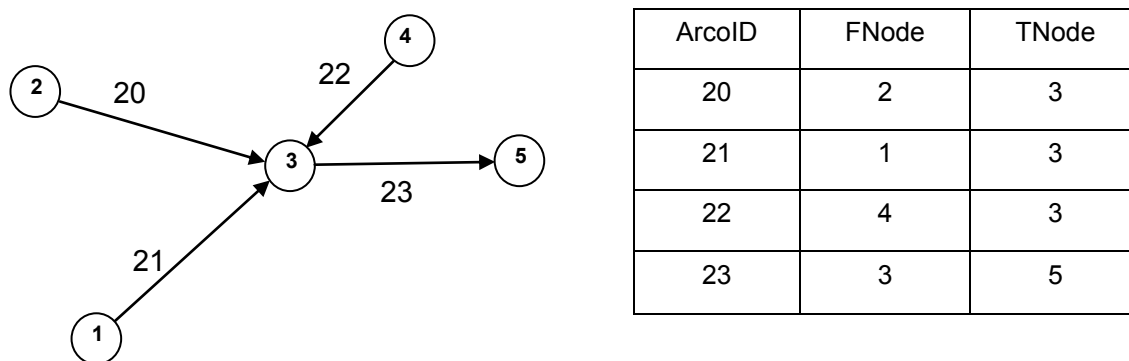


Figura 22 - Representação do modelo arco-nó e respectiva tabela (Adaptado ESRI, 2012b).

Durante a construção de uma rede a partir do *ArcGIS* existem três propriedades importantes a ter em conta, que são os elementos da rede, a conectividade da rede e os atributos da rede (ESRI, 2012b).

4.2.1 ELEMENTOS DA REDE

Os arcos, os nós e as regras de viragem (*turns*), são elementos utilizados na construção de uma rede. Os arcos são os elementos que ligam os nós e é nestes que se processa o movimento ou o fluxo, nos nós é onde se inicia ou termina o movimento e as *turns* são a informação sobre o movimento entre dois arcos, por isso, arcos e nós são a estrutura básica de qualquer rede porque, sendo as *turns* elementos opcionais (ESRI, 2012b).

Como referido anteriormente, as *turns* modelam o movimento de um arco para outro, sendo muitas vezes criadas para alterar o custo do movimento numa rede ou até mesmo proibir um qualquer movimento (Figura 23) (ESRI, 2012b). A título de exemplo, é possível inserir uma direcção no arco, em que o custo de tempo para virar à esquerda é muito superior ao de virar apenas à direita ou até mesmo criar uma proibição de viragem à esquerda, simulando assim impedimentos reais de viragens que não podem ocorrer, devido à sinalização.

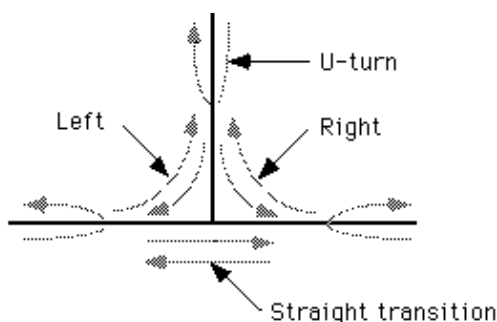


Figura 23 - *Turns* (ESRI, 2012b).

As *turns* podem ser criadas em qualquer nó, onde os arcos se ligam, existindo assim n^2 possibilidades de viragem em cada nó da rede, em que n é o número de arcos ligados por um nó (ESRI, 2012b). Uma característica das *turns* é permitirem que num nó, com um único arco, seja possível realizar uma viragem para inversão de marcha, sendo denominadas, segundo a designação americana, por *U-turn* (ESRI, 2012b).

Quando não se cria nenhuma regra de viragem (*turn*) específica, o sistema cria automaticamente as *Global turns*, atribuindo assim penalizações generalizadas nos movimentos de mudança de direcção, não se definindo em cada nó, mas sim criando regras para todos os nós, melhorando-se assim as estimativas de tempo de viagem na rede (ESRI, 2012b).

4.2.2 CONECTIVIDADE DA REDE

Numa rede, os nós garantem a conectividade sendo nestes que são estabelecidas as regras de conectividade numa rede, fundamentais para a correcta modelação da rede.

No entanto, a modelação da realidade é algo muito complexo, por isso, às vezes é necessário criar várias regras de conectividade entre diferentes redes, como é o caso da modelação simultânea da rede viária com a rede de transporte público de metropolitano (ESRI, 2005b). Isto apenas é possível aplicando regras de conectividade diferenciadas (Figura 24), sendo habitual a utilização de nós de transferência para ligar grafos entre si e assim se poder representar alterações modais (Miller & Shaw, 2001).

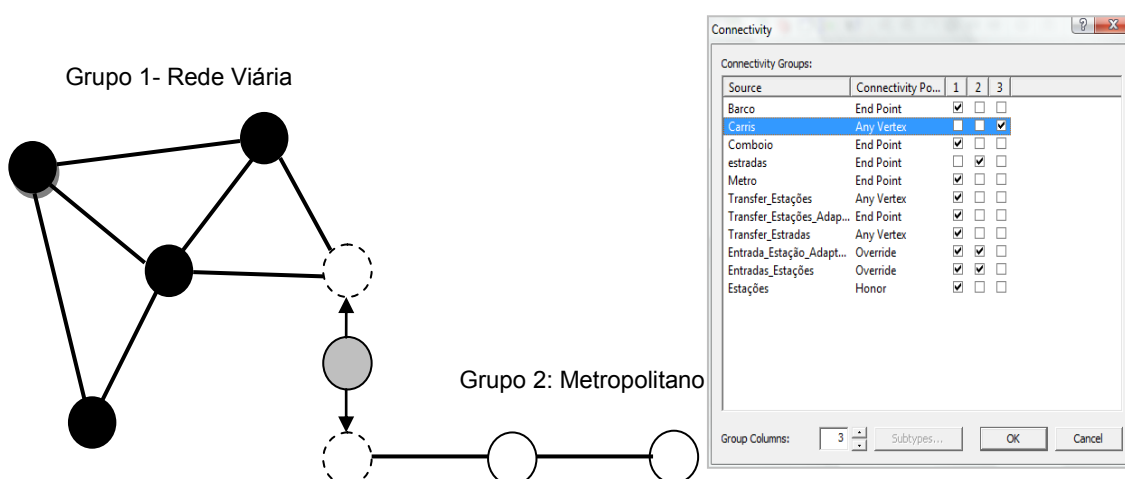


Figura 24 - Conectividade entre diferentes redes (grupo1 e grupo2), a partir de uma rede "Transfer" (adaptado Moraes, 2013).

Nas regras de conectividade, um elemento do tipo arco só se pode ligar a outros arcos que pertencem ao mesmo grupo de conectividade, por outro lado, os nós podem ser atribuídos a um ou mais grupos de conectividade e isto permite que arcos de diferentes grupos se possam ligar (Miller & Shaw, 2001). Apesar desta característica é preciso ter em atenção que é necessário utilizar um nó específico para interligar os dois grupos de conectividade (ESRI, 2012b), como é o caso dos nós de paragem ou uma estação, em redes multimodais, que podem servir como troca entre os arcos de redes distintas, dos modos rodoviário para os de metropolitano, por exemplo (ESRI, 2012b).

Compreendendo que as regras de conectividade são importantes para o bom funcionamento de uma rede, é necessário perceber quais as que existem para os elementos lineares e pontuais da rede. Aquelas que são entre arcos, podem ser estabelecidas de duas formas (ESRI, 2012b), por *End point* ou por *Any Vertex* (Figura 25). Se for por *End point*, a ligação entre arcos só vai ser efectuada pelos pontos terminais de cada arco (ESRI, 2012b), se esta se realizar por *Any Vertex*, o arco vai-se dividir no local onde dois arcos se intersectarem e criar assim novos nós e novos arcos (ESRI, 2012b).

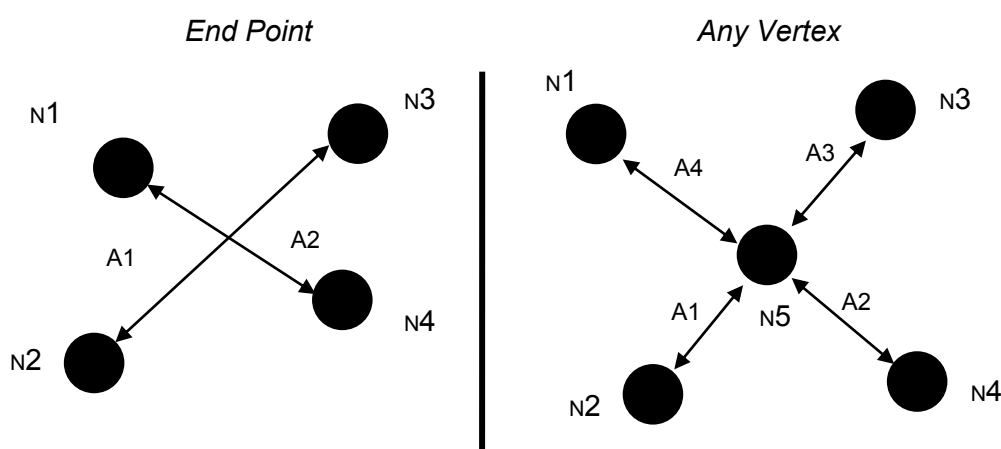


Figura 25 - Conectividade entre arcos por *End Point* e *Any Vertex* (Adaptado ESRI, 2012b).

Observando a Figura 25, quando se opta com uma política de conectividade por *End Point*, apesar de os arcos A1 e A2 se cruzarem, não se ligam e apenas vai existir ligação pelos terminais de cada arco. Esta regra de conectividade permite modelar elementos que se cruzam, mas não no mesmo plano, como por exemplo as pontes (ESRI, 2012b).

Por outro lado se a regra utilizada for *Any Vertex*, quando os arcos se cruzam num ponto, o vértice irá separar-se em quatro novos arcos, tal como se pode observar

na Figura 25, em que os arcos A1 e A2 originais se partem em dois, dando origem aos arcos novos arcos A4 e A3, através da existência de um novo nó, no vértice da intersecção (N5) (ESRI, 2012b).

Outra das características de conectividade numa rede, tem que ver com as intersecções que nem sempre são realizados no mesmo plano (Miller & Shaw, 2001), ou seja, no caso de existir um túnel ou viaduto, estes não se encontram à mesma cota, o que pode causar erros nas operações de análise de redes efectuadas posteriormente. Para além de se poder limitar este erro com uma política de conectividade por *end point* (ESRI, 2012b), existem ainda duas opções para modelar a elevação numa rede, sendo uma a partir de um campo de elevação nos elementos da rede (Figura 26) e a outra através da coordenada Z, proveniente da geometria dos elementos da rede (Miller & Shaw, 2001). No primeiro caso, os elementos da rede contêm a informação sobre a elevação, derivada de campos que se encontram nas tabelas dos elementos da rede e neste caso os campos de elevação são usados na rede para aperfeiçoar a conectividade da política de conectividade nos *end points* dos arcos (ESRI, 2012b). Para se modelar a elevação através da coordenada Z, é necessário guardar a elevação física de cada vértice do elemento, ou seja, a informação da elevação só se encontra em dois campos, que representam o início e o fim do arco (ESRI, 2012b).

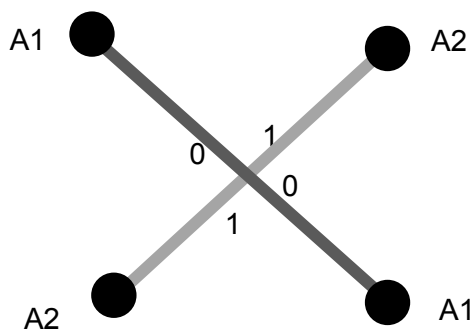


Figura 26 - Conectividade a partir de um campo de elevação (Adaptado ESRI, 2012b).

No caso das regras de conectividade referentes aos nós, estas podem ser do tipo *Honor* ou *Override*. No módulo do *Network Analyst* é por defeito do tipo *honor*, que honra as políticas de conectividade dos arcos (ESRI, 2012b). No entanto, existem situações em que não se deve considerar esse comportamento, por exemplo, no caso de uma rede de transporte público rodoviário combinado com a rede viária, a rede rodoviária possui um política de conectividade de *end point* nos seus arcos, mas se surgir a necessidade de se colocar uma paragem num vértice intermédio, será

necessário inserir uma política de nós *override*, para eliminar o comportamento pré-estabelecido da ligação do nó a um determinado arco. Para alterar este comportamento pré-estabelecido de nós que se formam nos *end points* ou vértices, de acordo com a política de conectividade dos arcos, muda-se a conectividade dos nós para *override* (ESRI, 2012b).

4.2.3 ATRIBUTOS DA REDE

Outro aspecto importante na construção de uma rede é os seus atributos, que controlam o movimento através da rede. Esta propriedade de uso específico será utilizada posteriormente, na análise da rede.

Os atributos vão ser muito importantes para a modelação de uma rede. No caso de se querer modelar a circulação nos transportes públicos, será correcto introduzir valores de impedância ou de resistência a partir dos valores do tempo, tendo em atenção o tempo de paragem em cada nó (estação ou paragem, por exemplo) e a velocidade assumida para cada arco. Por outro lado, se for para modelar a circulação pedonal, o factor distância e o declive podem surgir como factores de atrito. Nos arcos, este atrito ou impedância representa o custo de atravessamento de cada arco, que pode ser influenciado pelo tamanho, velocidade e até mesmo direcção de cada arco. Se o arco apenas tiver um sentido, então este é um factor de impeditivo ao movimento, o que vai levar a que a rede procure outro arco para efectuar a deslocação. Este nível de modelação da rede é importante para as análises de grande detalhe, traduzindo-se em resultados o mais próximos possível da realidade (Miller & Shaw, 2001).

Nos nós, as restrições de movimento materializam-se na possibilidade ou não, de atravessar o nó em questão (Miller & Shaw, 2001). Este tipo de impedância é importante porque permite simular os períodos em que o movimento se encontra imobilizado, devido a factores como a sinalização ou período de espera do transporte, mas nos nós também se pode incluir o consumo de tempo gasto na transferência de transportes (Gutiérrez, 2001).

Os atributos de uma rede apresentam quatro características básicas (Figura 27): o nome, a unidade de medida da impedância ou atrito (em unidades de tempo, distância ou outros), o tipo de dados (se é do tipo booleano, *integer*, *float* ou *double*) e o tipo de atributos (Butler, 2008).

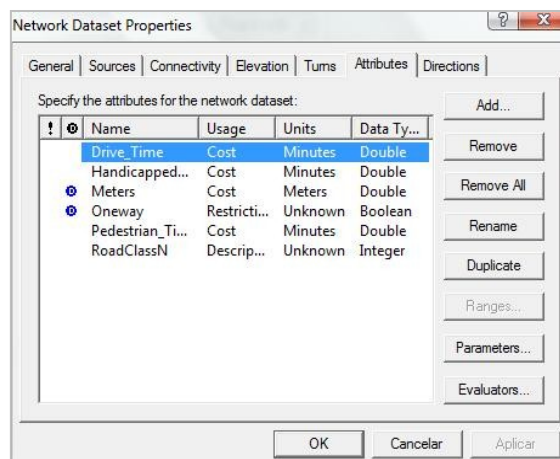


Figura 27 - Atributos de uma rede (adaptado Morais, 2013).

Assim é possível criar atributos de custo, restrição, descrição e hierarquia (Butler, 2008). Os atributos de custo, são usados para medir e modelar restrições nos movimentos realizados na rede sendo necessário pelo menos um atributo de custo na rede. Este pode ser expresso em termos de tempo, distância linear ou outro factor que influencie o movimento e que se pretende analisar na rede, como por exemplo, o consumo de combustível ou o custo monetário de deslocação (Butler, 2008). Nas restrições é possível proibir certos movimentos na rede como, por exemplo, restrições específicas para um tipo de veículo, de forma a impedir a passagem de um veículo pesado numa ponte onde exista limite de peso (ESRI, 2012b). No atributo descritivo, descrevem-se as características dos elementos da rede, apresentando a informação relativa à descrição dos nós e arcos (ESRI, 2012b). Por fim, a hierarquia é um atributo que vai hierarquizar uma rede principal, para se resolverem análises de rede mais rapidamente no *Network Analyst*, sendo permitido o uso de três níveis diferentes: primário, secundário e local. A utilização deste atributo permite a resolução mais rápida dos problemas de *routing* pois utiliza preferencialmente os arcos de hierarquia superior (Butler, 2008).

Para cada atributo da rede é possível adicionar avaliadores (Butler, 2008), que vão atribuir valores a cada atributo e vão servir para analisar a rede. É possível ter quatro tipos de avaliadores que podem ser um campo de uma tabela, uma constante, por uma função ou por um *VBScript*. Caracterizando estes avaliadores, o mais comum é o avaliador a partir de um campo de uma tabela de um elemento da rede (do arco ou do nó). Neste caso, é normal utilizar-se o campo da tabela relativo ao comprimento dos arcos, para se criar um avaliador que fará parte do atributo sobre o custo da distância (Butler, 2008). Numa rede também é possível criar uma expressão, em conjunto com o campo da tabela do avaliador. Para se ter um avaliador a partir de uma

função, é possível construí-la a partir de um atributo com uma constante ou parâmetro, por exemplo é possível multiplicar um determinado atributo por uma constante (valor numérico). No caso de o atributo ser o da distância e este se encontrar em metros, é possível criar um avaliador multiplicando o atributo pela constante: Distância / 1000 (ESRI, 2012b). Se o avaliador for um valor constante, este pode ser numérico (0,1,2) para um atributo de custo, descrição e hierarquia, caso o atributo seja de restrição, este avaliador terá de ser do tipo booleano, isto é, 0 para restrito e 1 quando é permitido atravessar (ESRI, 2012b). Por fim, o avaliador por VBScript faz com que os atributos sejam atribuídos por um resultado de um VBScript, o que permite modelar atributos complexos. Ao contrário dos outros avaliadores, este não atribui valores quando uma rede é construída, em vez disso atribui valores quando é realizada uma análise particular de redes, ou seja, os valores do atributo vão estar sempre em constante mudança, consoante a utilização do avaliador de VBScript (ESRI, 2012b).

4.3 PRINCIPAIS TIPOS DE ANÁLISE DE REDES

A análise de redes em formato vectorial consiste num conjunto de operações de modelação e simulação, em ambiente computacional, de processos que ocorrem em redes (Gutiérrez & Urbano, 1996). Estes processos são muito úteis no planeamento e gestão de transportes ou de movimentos pedonais. Depois da concepção de uma rede, é possível realizar um conjunto de análises espaciais a partir de um software SIG. No entanto, o desenvolvimento dessas aplicações ainda apresentam algumas limitações e carecem de maior desenvolvimento (Kemp, 2008).

No âmbito desta dissertação, a aplicação *Network Analyst* permite realizar algumas análises de rede. Assim, a partir deste módulo, é possível elaborar análises de caminhos mínimos para definição de rotas (*routes*), determinação de proximidade de serviços (*closest facility*) ou a partir de um *vehicle routing problem*, mas também para criação de matrizes de origem-destino e análises das áreas de influência utilizada no caso de estudo desta dissertação.

4.3.1 CÁLCULO DE CAMINHOS MÍNIMOS

O caminho mínimo é uma análise realizada entre dois pontos, para determinar o melhor caminho (Figura 28). Esta análise pode ser baseada na distância mais curta, ou qualquer unidade de medida, a percorrer entre um par de nós de um grafo (Morgado, 2010). Estes podem ser relativos à distância linear, o caminho mais curto entre o par de nós, mas também pode ser minimizado considerando outros atributos da rede (Butler, 2008). Neste caso, factores como o tempo, custo e declive podem

influenciar o cálculo do caminho mais curto. Por exemplo, às vezes o caminho mais curto em distância linear pode não ser o caminho mais rápido, devido a factores de resistência ou impedimento na rede. Estes factores de impedimento podem ser associados a nós e a arcos de uma rede, muitas vezes associados a nós, por forma a atribuir-lhes tempos de paragem relativo ao tempo de espera numa estação de metropolitano da passagem do próximo comboio. Por outro lado, os impedimentos num arco têm que ver com as características que o arco vai apresentar. Se for um arco de rede viária, este pode ser influenciado pelo limite máximo de velocidade que varia consoante se está a modelar uma auto-estrada ou uma estrada dentro de uma localidade ou caso seja um percurso a pé, pelo passeio, o declive e o estado do piso vão ser factores que vão influenciar as características e atributos dos arcos.

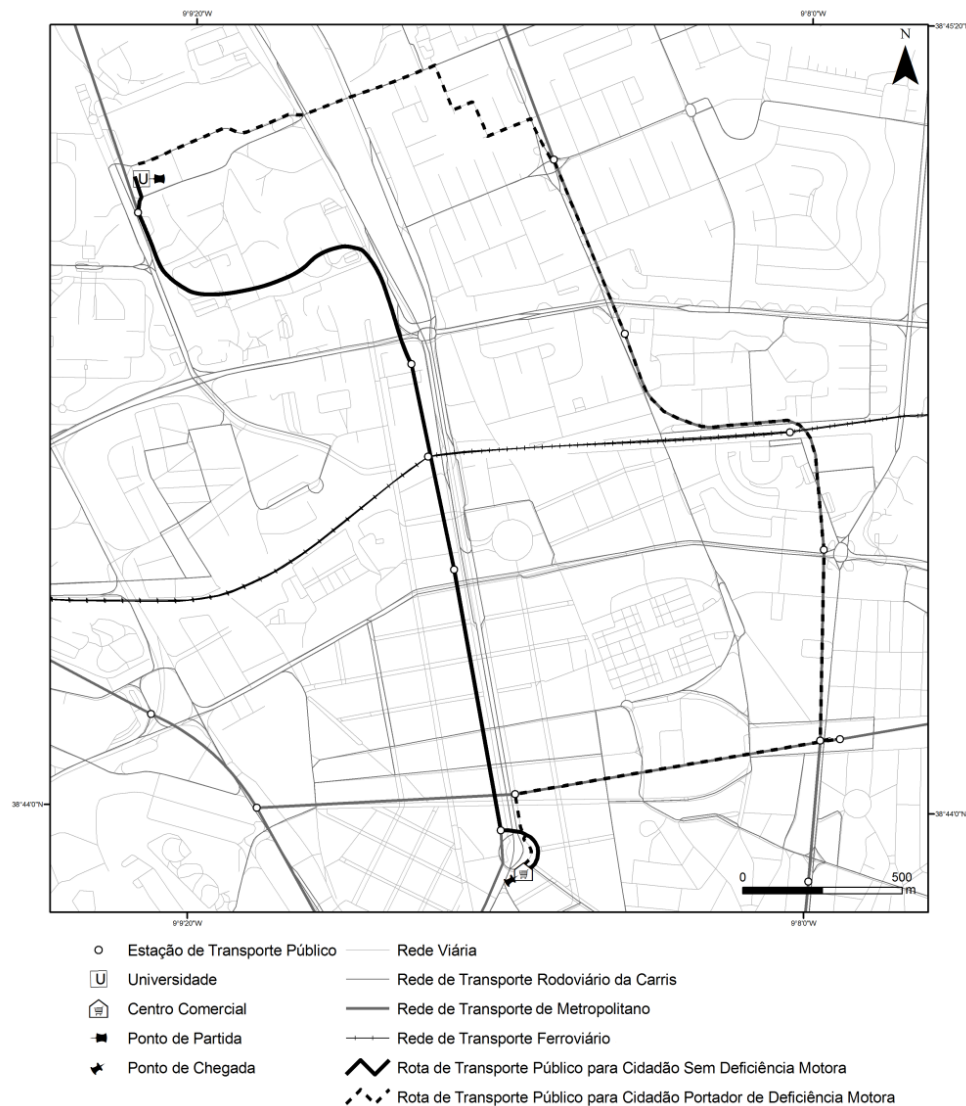


Figura 28 - Cálculo da melhor rota (Morais, 2013).

É também possível calcular a proximidade de serviços, que permite determinar a melhor rota para as ocorrências que pretendemos analisar, a partir de um ponto de origem, como por exemplo, a determinação dos hospitais mais próximos (destino) de um determinado local de acidente (ponto de origem), para o transporte de feridos por parte dos bombeiros.

Vehicle Routing problem, é o cálculo dos melhores caminhos, para um conjunto de veículos, segundo algumas restrições pré-definidas nomeadamente, tempos de paragem, horas de início e de fim dos serviços, capacidade dos veículos, entre outras.

Através da matriz de origem-destino, são definidas linhas entre o ponto de origem e o de destino, acumulando os custos, pelo caminho mais curto segundo o critério definido melhor rota,.

4.3.2 ANÁLISE DE ÁREAS DE INFLUÊNCIA

Através da análise de áreas de influência é possível compreender a influência que um determinado ponto tem de condicionar o comportamento dos utilizadores tendo por base as características da rede, mono ou multimodal. A área de influência é referente a medições na rede, que podem ser segundo a distância linear (isométricas) ou em relação a outro qualquer factor de restrição como o tempo (isócronas), dependendo do atributo em análise. Por exemplo, a partir de uma rede concebida a partir da rede pedonal (Figura 29), podemos calcular a área de influência da estação de metropolitano da Cidade Universitária, em relação a 100, 250 e 500 metros desta. Esta análise é muito mais vantajosa que a análise espacial por *buffer* (Figura 30), que considera o espaço como isotrópico, o que pode constituir como um erro de análise, uma vez que não entra em consideração com as limitações de utilização da rede.

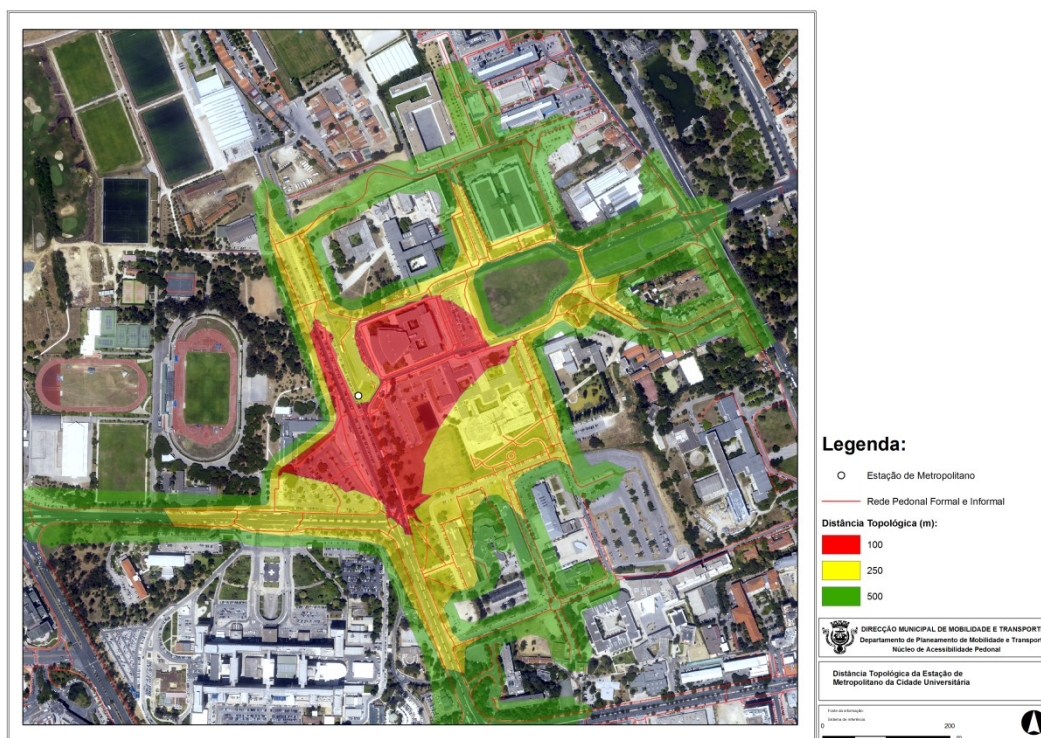


Figura 29 - Áreas de influência estação do metropolitano da Cidade Universitária (CML, 2013).

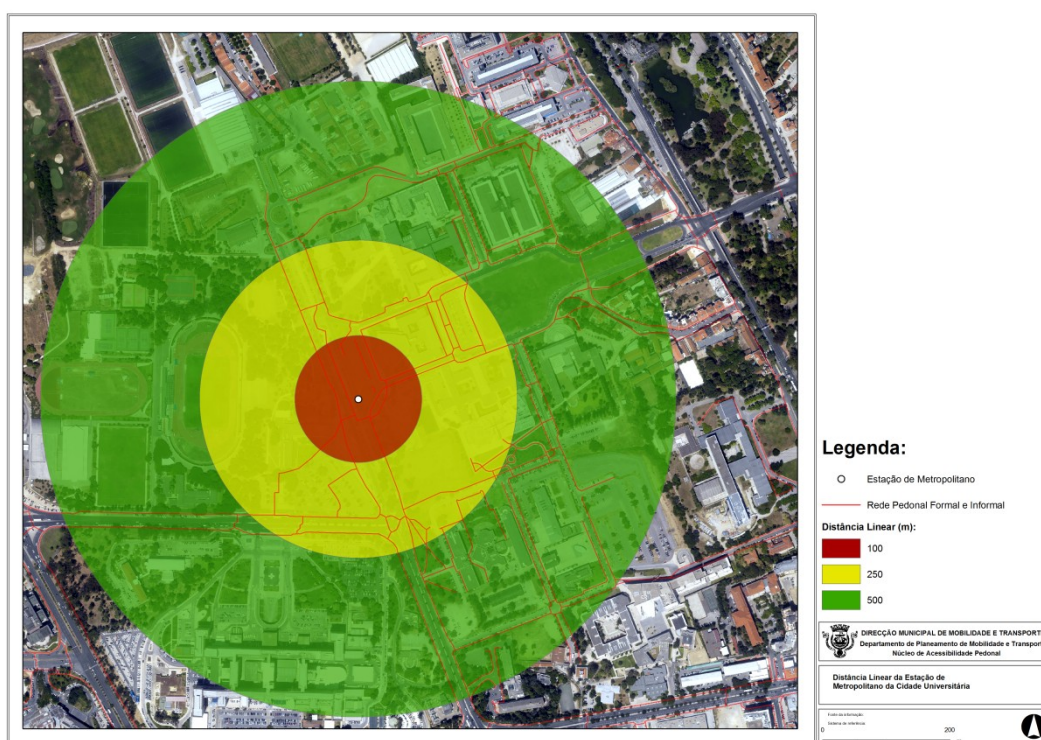


Figura 30 - Distância linear da estação do metropolitano da Cidade Universitária (CML, 2013).

“Decisions about the allocation of land typically involve the evaluation of multiple criteria according to several, often conflicting, objectives. With the advent of GIS, we now have the opportunity for a more explicitly reasoned environmental decision making process.”

J.Ronald Eastman, 1995⁶

5. ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Actualmente nos processos de tomada de decisão de grande complexidade, que envolvem em geral mais que um decisor, recorre-se a técnicas e metodologias com fundamentos científicos, para se solucionar problemas (Pereira, 2006). Neste âmbito a tomada de decisão é importante em várias áreas do conhecimento, como também para a Geografia e para o planeamento e gestão do território.

Segundo Winterfeldt (1986), os problemas mais complexos devem ser desagregados em vários subproblemas, para assim facilitar a resolução dos mesmos (Winterfeldt & Edwards, 1986). Surge assim, a utilização de métodos de apoio à decisão. A análise multicritério é uma metodologia que permite resolver, avaliar e formular modelos de análise, para organizar e sintetizar a informação disponível, de modo a que o decisor esteja o mais seguro no processo de tomada de decisão (Belton, 2002).

Na análise multicritério, um critério é uma condição que se pretende avaliar e que contribui para a tomada de decisão e pode ser critério de exclusão ou de factor (Ramos, 2000). No caso de ser um critério de exclusão, este vai limitar as alternativas em consideração, excluindo-as da análise. Caso seja de factor, este é um critério que aumenta ou diminui a influência/aptidão de uma determinada alternativa na análise (Ramos, 2000; Mousseau, 1997).

Apesar de os SIG e os métodos por análise multicritério serem duas áreas distintas de pesquisa e de investigação, estas podem beneficiar na combinação entre ambos (Malczewski, 1999).

Existem três decisões críticas a serem realizadas na implementação de uma análise multicritério em SIG, que são a selecção e definição dos critérios, implementação dos pesos de cada critério e a escolha do procedimento para

⁶ Eastman, (1995, p. 539)

combinação destes, pois cada um vai influenciar o *output* final do modelo (Carver, 1991).

A análise multicritério produz um conjunto de *outputs* e podem ser considerados uma ótima alternativa às técnicas normais de sobreposição, já que a utilização de uma metodologia por análise multicritério não produz apenas uma só resposta, mas várias alternativas plausíveis, que dependem fortemente dos critérios que o decisor define durante a construção do modelo (Carver, 1991). Esta é a grande vantagem de se utilizar a metodologia por análise multicritério a partir de uma ferramenta SIG, pois a capacidade de analisar e explorar um conjunto variado de resultados, utilizando múltiplos critérios, com diferentes pesos e combinações vai permitir que se encontrem as melhores soluções (Carver, 1991). Os métodos de análise multicritério são assim, um método muito apetecível para o desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão espacial, aplicados a vários problemas do território (Eastman, 1996).

Neste capítulo, apresenta-se sucintamente uma revisão de alguns conceitos para a utilização da análise multicritério, como método de apoio à decisão. Tipicamente incluem procedimentos de avaliação de pesos para cada critério, normalização e combinação dos critérios (Ramos, 2000).

5.1 AVALIAÇÃO DOS PESOS PARA OS CRITÉRIOS

Durante um processo de decisão, que envolve vários critérios, é muitas vezes difícil quantificar a importância relativa de cada um deles (Ramos, 2000), por isso, é algumas vezes necessário distinguir e definir o grau de importância que cada critério tem no processo de decisão. Normalmente é utilizado um método para determinar o peso que cada critério apresenta no processo de decisão (Winterfeldt & Edwards, 1986; Ramos, 2000).

Embora não existindo um método consensual para a definição dos pesos para cada critério encontra-se na literatura várias propostas para a definição dos pesos, sendo possível agrupá-los em quatro métodos gerais (Ramos, 2000; Malczewski, 1999; Winterfeldt & Edwards, 1986): os métodos baseados em ordenação de critérios, os por distribuição de pontos; por escala de pontos; e por comparação de critérios par-a-par (Stillwell *et al.*, 1981; Osgood *et al.*, 1957; Saaty, 1977; Easton, 1973).

O método aplicado no âmbito desta dissertação foi o baseado numa escala de pontos, que foi desenvolvido pela primeira vez por Osgood *et al.* (1957) e que depende da opinião revelada através de inquéritos. Fundamentalmente a base deste método

considera que para alguém expressar adequadamente a sua preferência, bastariam apenas sete níveis de diferenciação (Ramos, 2000). Esta atribuição de pesos para cada critério era definida a partir de um número, numa escala compreendida entre um e sete, em que um representa que o critério em consideração é insignificante e com pouca relevância e sete como um critério importante, como é apresentado na Figura 31.

Insignificante	1	2	3	4	5	6	7	Importante
----------------	---	---	---	---	---	---	---	------------

Figura 31 - Avaliação de pesos para os critérios por escala de pontos (Adaptado Ramos, 2000).

Depois da distribuição dos pontos por todos os critérios é possível normalizar estes valores, resultando um conjunto de pesos para cada critério (Ramos, 2000). De salientar que esta escala pode apresentar variações no número de pontos da sua escala.

5.2 NORMALIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS

Os dados obtidos depois da avaliação dos pesos para cada critério, resultam habitualmente de grandezas e valores que não são comparáveis, por isso são sujeitos a várias transformações, de modo a poder facilitar as operações de análise entre os diferentes critérios. Assim, é necessário proceder-se à normalização dos critérios para que estes se encontrem na mesma escala de valores (Loureiro, 2008). A normalização permite uma uniformização dos valores dos pesos numa mesma escala, o que vai possibilitar a comparação entre critérios (Ramos, 2000).

Existe uma grande variedade de processos de normalização dos critérios em SIG, que frequentemente são obtidos através da função de reclassificação, neste caso os valores de uma matriz são alterados em função de um conjunto de condições (Matos, 2008).

Outro processo de normalização de critérios que frequentemente se utiliza é a reclassificação a partir dos valores máximos e mínimos do critério em questão, para se definir uma escala, que pode ser através da variação linear, que é uma forma simples de o conseguir, definindo-se pela seguinte forma (Eastman, 1995):

$$x_i = \frac{(R_i - R_{Min})}{(R_{Max} - R_{Min})} * m$$

Onde R_i é o valor a ser normalizado e o R_{Max} e R_{Min} são os valores máximo e mínimo para o critério, em que m é o intervalo normalizado.

Por fim, a lógica *fuzzy* é também utilizada para a normalização de critérios na análise multicritério (Ramos, 2000). Nesta, os valores de um critério que se encontra numa determinada escala, podem ser convertidos numa escala normalizada (por exemplo entre 0-1) (Ramos, 2000), ou seja, vai permitir comparar valores de diferentes critérios e traduzir o grau de “pertença” que vai variar entre 0 e 1. Este demonstra um crescimento contínuo, desde uma não-pertença até uma pertença total do critério que se encontra num processo de *fuzzification* (Ramos, 2000). A Figura 32 apresenta algumas das funções *fuzzy* mais utilizadas.

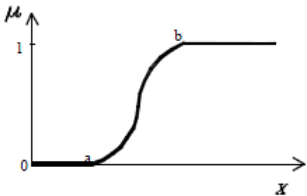
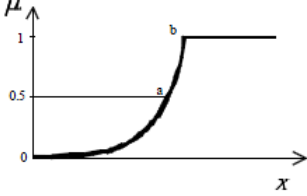
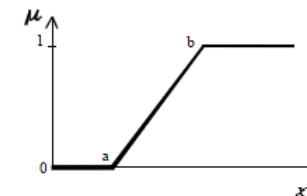
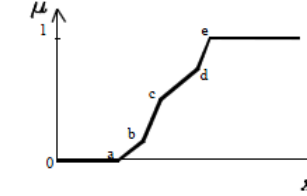
 <p style="text-align: center;">Sigmoidal</p>	$\mu = \sin^2(\alpha)$ $\alpha = (x - x_a) / (x_b - x_a) * \pi / 2$ <p>Para $x > x_b$, $\mu = 1$; $x < x_a$, $\mu = 0$</p>
 <p style="text-align: center;">J-shaped</p>	$\mu = 1 / (1 + ((x - x_b) / (x_b - x_a))^2)$ <p>Para $x > x_b$, $\mu = 1$</p>
 <p style="text-align: center;">Linear</p>	$\mu = (x - x_a) / (x_b - x_a)$ <p>Para $x > x_b$, $\mu = 1$; $x < x_a$, $\mu = 0$</p>
 <p style="text-align: center;">Complex</p>	<p>A função <i>fuzzy</i> entre dois pontos pode ser linearmente interpolada.</p>

Figura 32 - Funções fuzzy (Ramos, 2000).

5.3 COMBINAÇÃO DE CRITÉRIOS

Após a normalização dos critérios, é possível combinar estes entre si, existindo uma variedade de procedimentos para este fim (Malczewski, 1999). Alguns são mais

apropriados para ser usados em dados quantitativos, enquanto outros são mais apropriados para dados puramente qualitativos (Carver, 1991). Devido à extensão do tema, aqui apenas se irá abordar um procedimento de combinação de critérios, utilizado no âmbito da dissertação.

Um procedimento para combinação de critérios habitualmente utilizado na análise multicritério, é a combinação linear ponderada (WLC- *Weighted Linear Combination*), que combina os critérios do tipo factor, através de uma média ponderada, dada pela seguinte equação (Voogd, 1983):

$$S = \sum_i^n w_i x_i$$

O S é o valor final do modelo/score, w_i é o peso do factor i , x_i é o valor normalizado para o mesmo factor e o n é o número de factores presentes na análise multicritério.

Quando existe a combinação de factores (escalas de valores contínuos), também há critérios de exclusão, que se encontram em escalas binárias (0 ou 1) e a combinação linear ponderada apresenta algumas alterações pela seguinte fórmula (Ramos, 2000):

$$S = \sum_i^n w_i x_i \times \prod_j^m c_j$$

Onde c_j é o score de exclusão, j e m o número de exclusões. Neste caso, o resultado da combinação dos factores é multiplicado pelo produto das exclusões (Ramos 2000).

Uma das vantagens da Combinação Linear Ponderada é o facto de permitir a compensação dos critérios (*Trade-off*), ou seja, um critério com pouca influência pode ser compensado por outros critérios (Ramos, 2000).

6. CASO DE ESTUDO – O MAPA DE POTENCIAL PEDONAL DE LISBOA

6.1 INTRODUÇÃO

O caso de estudo desenvolvido na presente dissertação resultou da colaboração do Núcleo de Acessibilidade Pedonal, da Câmara Municipal de Lisboa (CML) com o Instituto de Geografia e Ordenamento do Território (IGOT). Este caso de estudo permitiu a simbiose entre meio académico e a CML, na elaboração de um instrumento de apoio à decisão, no âmbito do primeiro Plano de Acessibilidade Pedonal de Lisboa.

6.2 ÁREA DE ESTUDO

A área onde se desenvolveu o caso de estudo é o município de Lisboa, o maior centro urbano português, principal pólo económico e capital política do País e também centro da Área Metropolitana de Lisboa (AML). O município de Lisboa (Figura 33) apresenta uma área aproximadamente de 84,9 km² e de acordo com os *Censos* de 2011, um total de 547.733 habitantes.

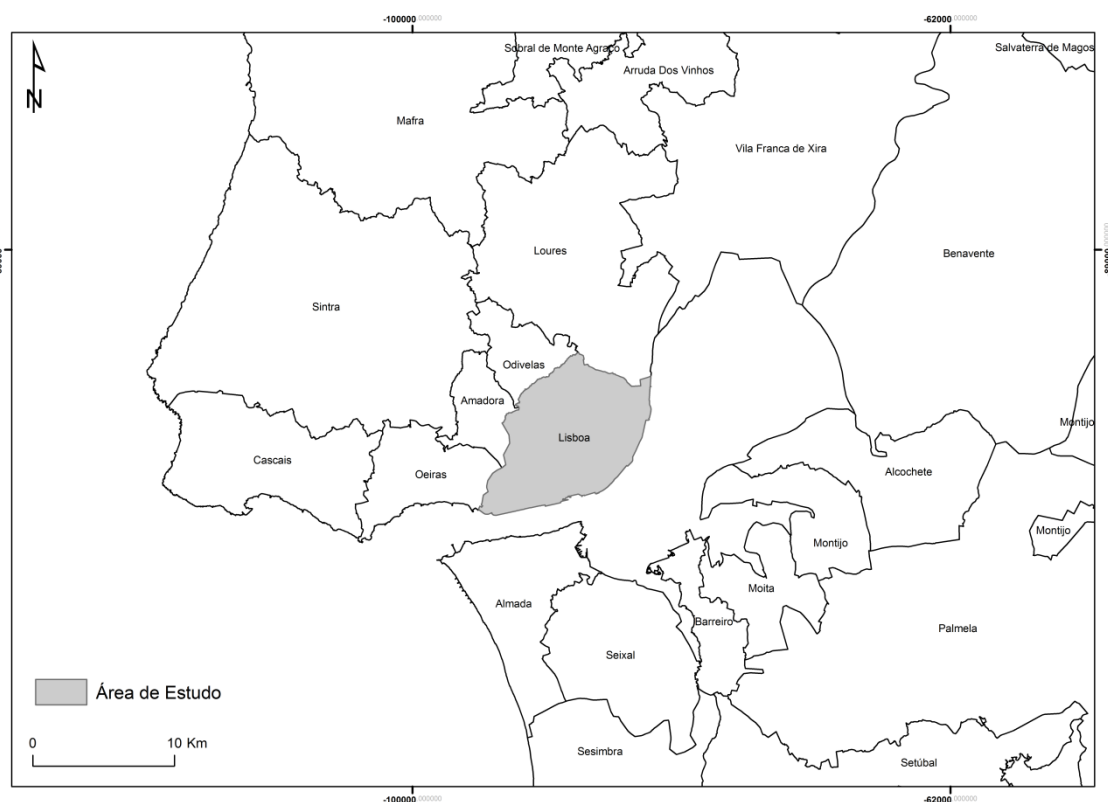


Figura 33 - Área de estudo.

O município de Lisboa tem actualmente 53 freguesias (Figura 34), divisão administrativa que se mantém inalterada há mais de 50 anos, desde 1959. Desde então, as alterações demográficas, sociais e económicas ocorridas em Lisboa têm

tornando esta organização administrativa desadequada. Decorrem daí vários problemas na realização de estudos ao nível municipal, que se devem ao facto de algumas freguesias não apresentarem massa crítica (existem algumas freguesias com menos de 1.000 habitantes) e por existirem outras freguesias com níveis de população e de área completamente díspares, o que dificulta a análise e a intervenção municipal (CML, 2005).

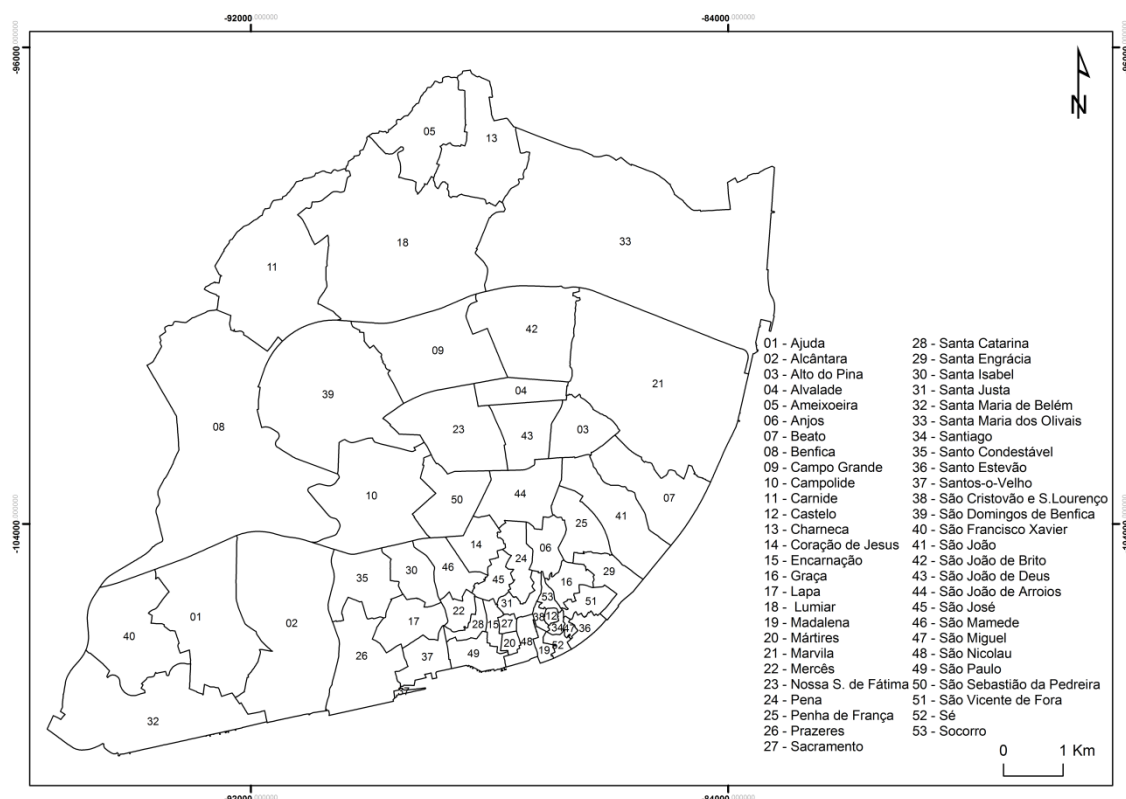


Figura 34 - Freguesias de Lisboa antes da reorganização administrativa.

Actualmente está a decorrer um processo de reorganização administrativa em Lisboa, assente em três eixos⁷, que genericamente têm em vista o reforço das competências das Juntas de Freguesia, dotando estas unidades autárquicas de mais meios para prestarem mais serviços e um novo mapa da organização administrativa das freguesias de Lisboa, reduzindo das 53 actuais freguesias, para 24 (Figura 35). Esta reorganização foi efectuada de acordo com o princípio de racionalização e de ajustamento da organização territorial de Lisboa, para permitir a criação de freguesias com maiores dimensões e mais equilibradas entre si, permitindo assim, uma melhor afectação dos recursos humanos e financeiros para as funções das novas juntas de freguesia de Lisboa.

⁷ Assembleia da República Projecto de Lei N.º 120/XII/1.ª Reorganização Administrativa de Lisboa de 15 de Dezembro de 2011.

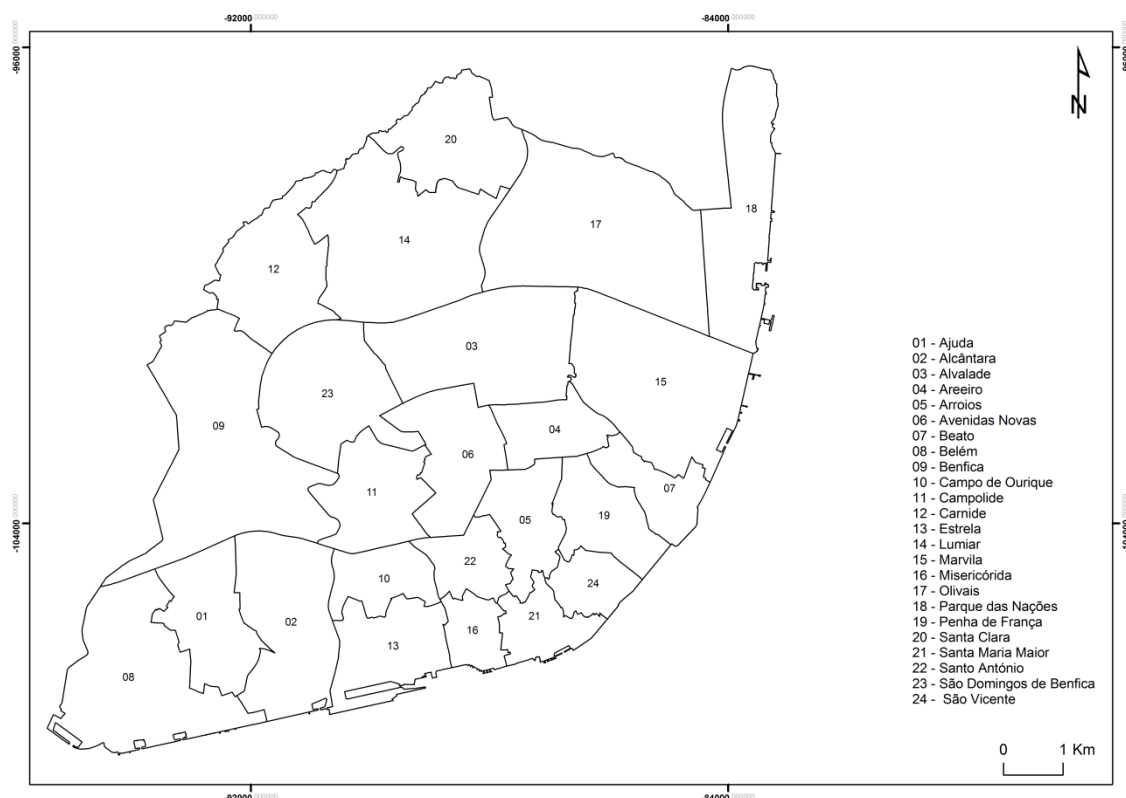


Figura 35 - Freguesias de Lisboa depois da reorganização administrativa.

De referir que os limites administrativos do município de Lisboa, utilizados no âmbito do caso de estudo, foram os limites que à data da dissertação se encontravam em vigor. Assim foram utilizados os limites presentes na figura 34.

6.2.1 BREVE CARACTERIZAÇÃO SÓCIO-DEMOGRÁFICA

Para além de um breve enquadramento do município de Lisboa, é também necessário realizar uma caracterização sociodemográfica de Lisboa.

No que diz respeito à evolução da população residente no município de Lisboa verificou-se que nos últimos 30 anos a população de Lisboa tem vindo a sofrer um decréscimo (Figura 36), contrastando com o crescimento da AML. Entre 1970 e 1981 verificou-se um crescimento da população, que se deveu principalmente ao “retorno” de muitos portugueses das ex-colónias africanas, tendo sido o valor do ano de 1981 o mais elevado alcançado pelo município de Lisboa. A partir de 1981 registam-se perdas significativas de população, que se deveram em grande medida à procura de terrenos mais baratos e por uma procura de fogos com áreas médias mais elevadas, que foram possíveis de encontrar nos municípios vizinhos de Lisboa. Os recentes censos mostram que a tendência de perda populacional no município de Lisboa se manteve,

tendo-se observado no entanto, uma diminuição mais moderada da população entre 2001 e 2011 (Figura 36).

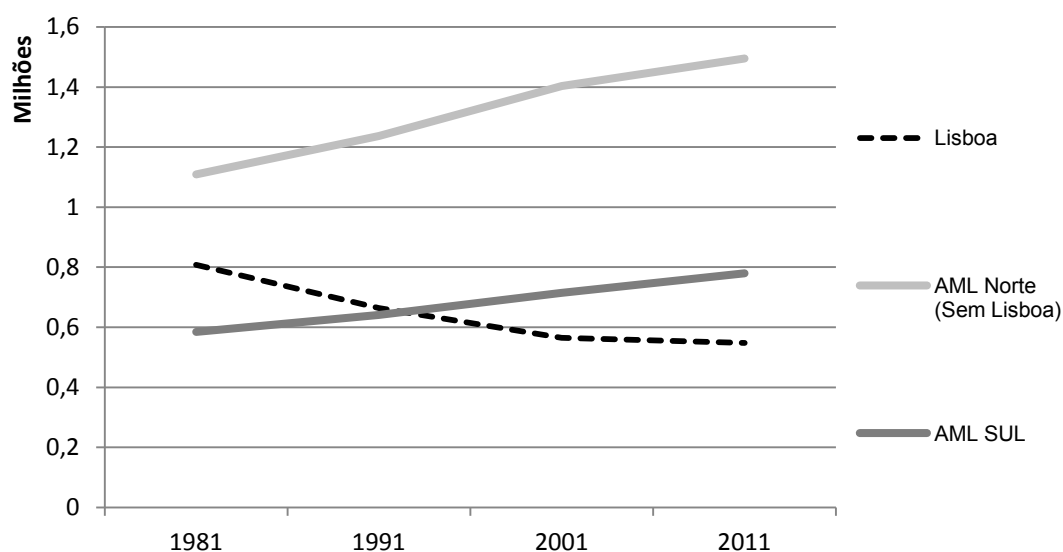


Figura 36 - Evolução da população residente em Lisboa e na AML entre 1981-2011 (INE, Censos, 1981-2011).

Quanto à distribuição etária da população de Lisboa, de acordo com os dados censitários, verifica-se um aumento do envelhecimento (Figura 37). O escalão etário dos jovens e dos activos viu decrescer a sua importância, contrastando com o aumento dos idosos, traduzindo-se num índice de envelhecimento que, em 2011, era de 185 idosos por cada 100 jovens. A população de Lisboa, para além de mais reduzida, está também a ficar progressivamente mais envelhecida.

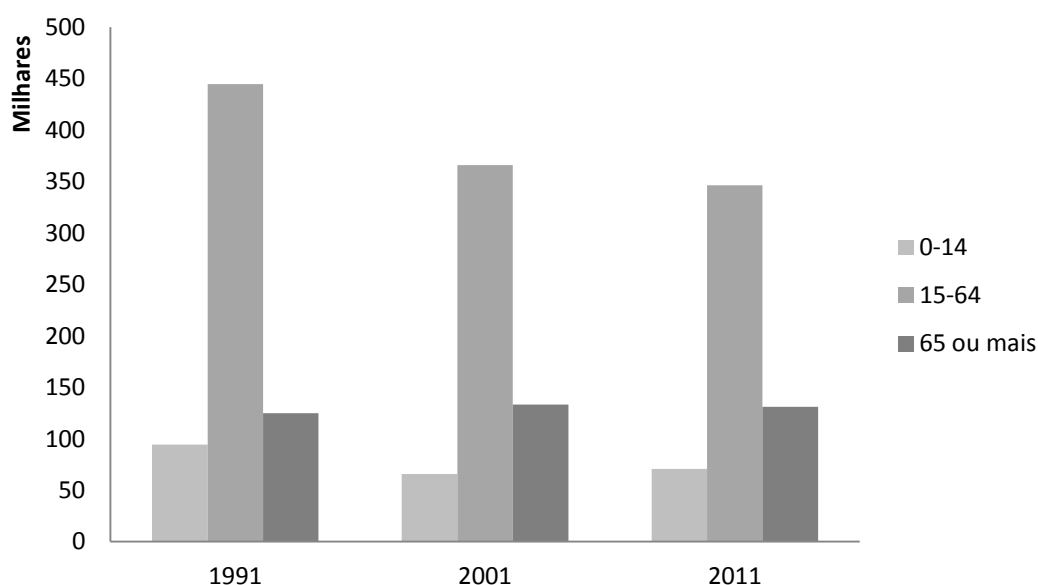


Figura 37 - Estrutura etária da população de Lisboa entre 1991-2011 (INE, Censos, 1991-2011).

Em relação à densidade média populacional de Lisboa (Quadro 3), os valores apresentados têm vindo a decair e são bastante reduzidos, quando comparados com outras cidades Europeias (CML, 2005). Contudo os valores da densidade populacional apresentam diferenças no território de Lisboa, existindo naturalmente áreas com maiores densidades populacionais, que se encontram concentradas nas áreas residenciais mais antigas da cidade.

Quadro 3 - Densidade populacional por hab./ha entre 1991 e 2011 (INE, Censos, 1981-2011).

	Densidade Populacional (hab./ha)
1991	78,1
2001	66,5
2011	64,5

Em 2005, um estudo da CML revelava que algumas das áreas mais antigas da cidade, como Arroios (215 hab/ha), Bairro Alto (193 hab/ha), São Vicente (169 hab/ha), Beato/Centro (163 hab/ha) e Castelo (153 hab/ha), eram as freguesias com os valores mais elevados de densidade populacional. Por outro lado, também áreas como o Areeiro, Campo de Ourique e Benfica apresentam valores próximos de 145 hab/ha (CML, 2005).

Apesar do envelhecimento da população residente e do elevado crescimento habitacional na periferia de Lisboa, que levou à perda de população activa residente, grande parte dos postos de emprego ainda se situam no centro da cidade, o que origina a entrada de grandes fluxos diários de pessoas para Lisboa, tanto para os que aqui trabalham como para os que procuram o comércio e os serviços.

6.2.2 ACTIVIDADE ECONÓMICA, EMPREGO E MOBILIDADE

Neste ponto pretende-se fazer uma breve caracterização da actividade económica, evolução e dinâmicas do emprego e da mobilidade, no município de Lisboa e para isto é necessário enquadrá-lo na Área Metropolitana de Lisboa.

Observando os dados sobre a evolução da estrutura produtiva da população activa da AML, entre 1991 e 2011 (Figura 38), é evidente a terciarização acentuada da actividade económica, onde o sector dos serviços tem vindo a crescer e aumentando assim, a sua influência nas actividades da população na AML. O segundo sector com mais importância, é o sector secundário, que tem apresentado uma tendência de decréscimo, tendo perdido cerca de 10% entre 1991 e 2011, por troca com o

crescimento dos serviços. O sector primário, a agricultura, silvicultura e pescas, apresenta um valor residual, oscilando entre 1 e 2% entre 1991 e 2011. De salientar que entre 2001 e 2011 ocorreu um ligeiro crescimento, mas não muito significativo.

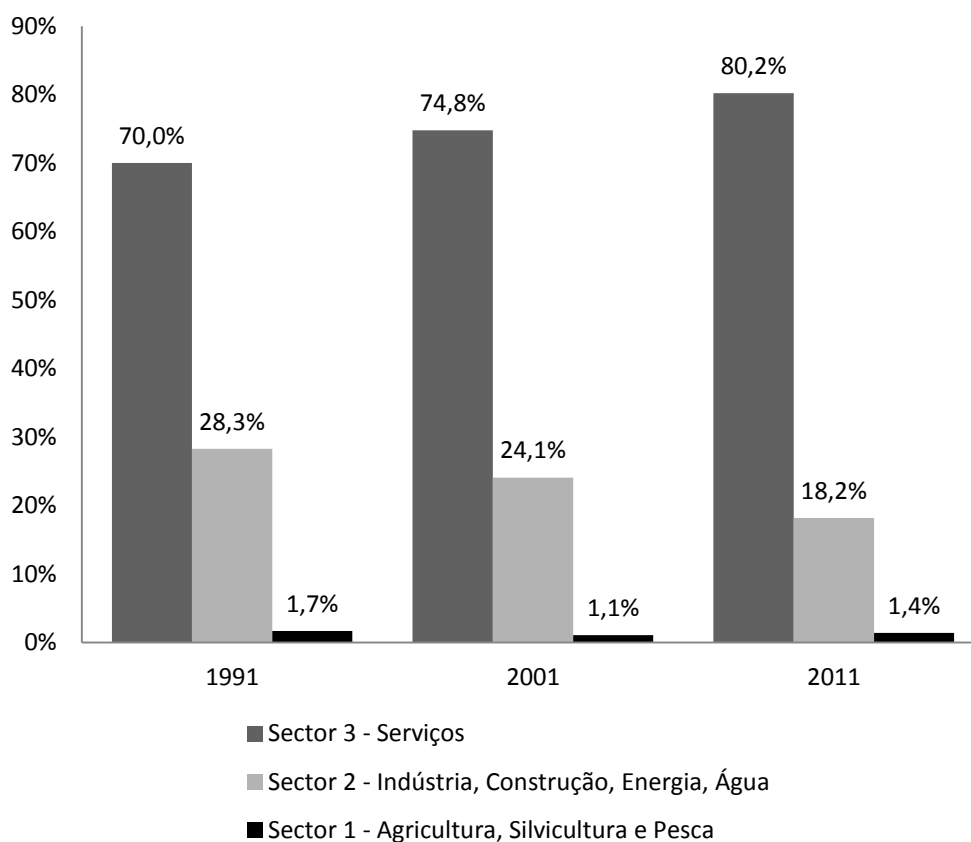


Figura 38 - Estrutura produtiva da população activa na AML entre 1991 e 2011 (INE Censos 1991-2001 e Anuário Estatístico, 2011).

Referindo mais concretamente a actividade económica e emprego, a AML apresenta um Produto Interno Bruto (PIB) de cerca de 64 313 milhões de euros, apresentando o primeiro lugar no ranking das regiões, no que diz respeito ao PIB Nacional e encontrando-se acima da média europeia (INE, 2011). Ao nível do município, a informação económica mais recente é muito limitada, mas recorrendo ao censo de 2011, é possível identificar algumas características da estrutura empresarial do município de Lisboa. Assim sabe-se que se encontram instaladas na AML, cerca de 339 650 mil empresas, das quais, 99 920 se encontram no município de Lisboa (INE, 2011). Quando analisamos a densidade de empresas (Figura 39), Lisboa apresenta a maior densidade de empresas, com 1177 empresas por quilómetro quadrado, revelando o carácter polarizador de Lisboa, em relação à sua periferia da AML (INE, 2011).

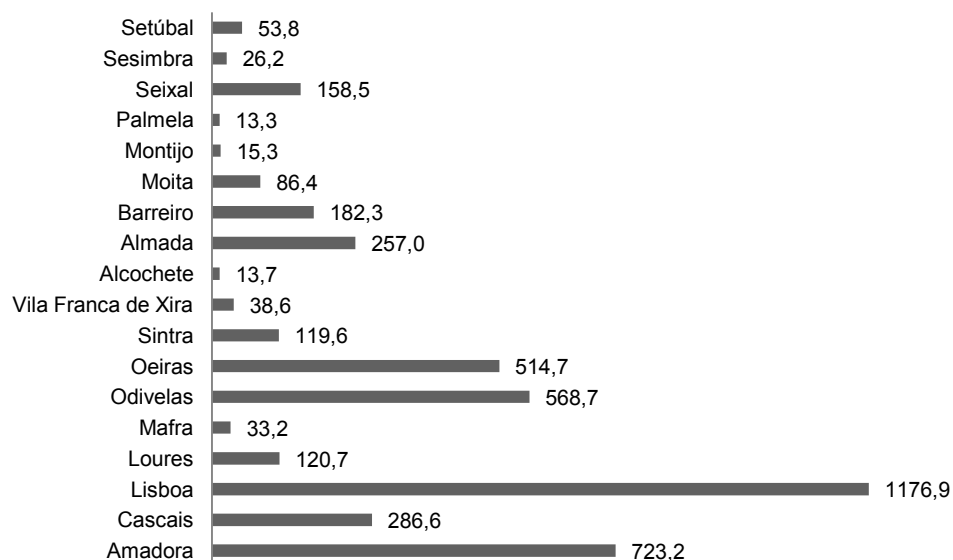


Figura 39 - Densidade de empresas (n.º/km²) na AML em 2010 (INE Anuário Estatístico, 2011).

É também importante perceber o total de pessoas ao serviço das empresas por município. Na figura 40 nota-se mais uma vez a importância que o município de Lisboa apresenta na concentração de postos de trabalho, com cerca de 614 066 pessoas. De salientar que alguns municípios da envolvente de Lisboa apresentam igualmente números elevados, como é o caso de Oeiras e Sintra, o que contrasta com os municípios de Alcochete, Sesimbra e Moita, que apresentam os valores mais baixos de pessoas ao serviço, como também em relação à densidade de empresas.

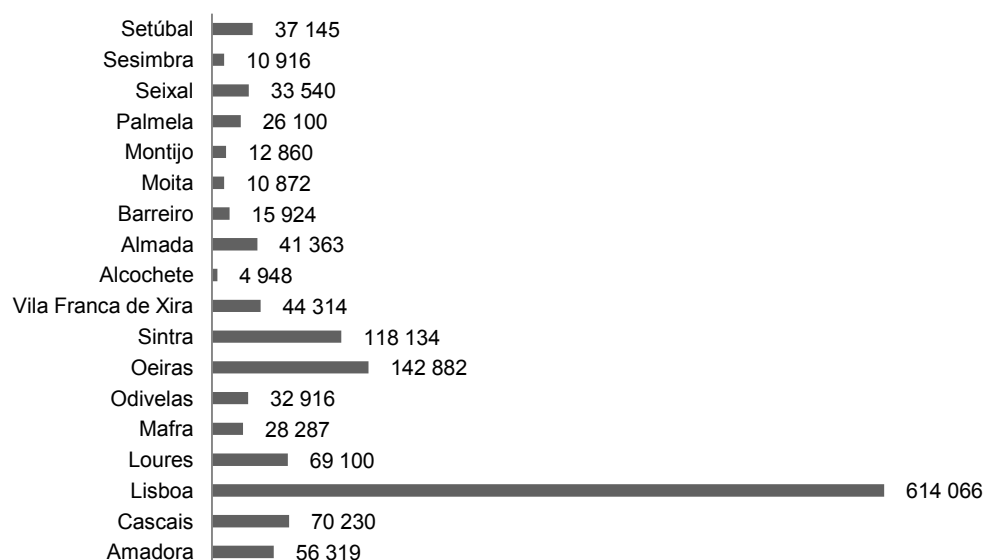


Figura 40 - Total de pessoas ao serviço nas empresas por município da sede segundo a CAE na AML em 2010 (INE Anuário Estatístico 2011).

Devido à grande concentração de empresas e de outras actividades no município de Lisboa, é importante compreender os padrões de mobilidade que acontecem neste município, mas também ao nível da AML. Assim, é necessário perceber a importância dos movimentos pendulares na região, perceber a percentagem de entradas e saídas da região e o tempo médio gasto nas deslocações na AML, mas também perceber quais são os modos de transporte mais utilizados nas deslocações.

De acordo com os dados obtidos pelo Censos 2011, entram diariamente na AML por razões de trabalho ou de estudo, cerca de 94 977 pessoas. É no município de Lisboa que se verificam as maiores entradas de população para trabalhar ou estudar, o que equivale a cerca de 77.7% da população residente da AML (INE, 2011) (Figura 41). Apesar de ser importante conhecer os números associados à entrada e saída de pessoas no município de Lisboa, referentes aos movimentos pendulares dentro da AML, não se encontraram valores fidedignos e recentes para uma caracterização mais completa e por este motivo apenas serão caracterizados os movimentos ao nível da AML.

Por outro lado o número de pessoas que sai da AML para trabalhar ou estudar é inferior às entradas e são apenas 49 440 pessoas, sendo no município de Lisboa onde se verificam menos saídas de pessoas (Figura 42). Contrastando com os municípios de Odivelas, Alcochete e Amadora, onde se observa um maior movimento de saída de população (Figura 42).

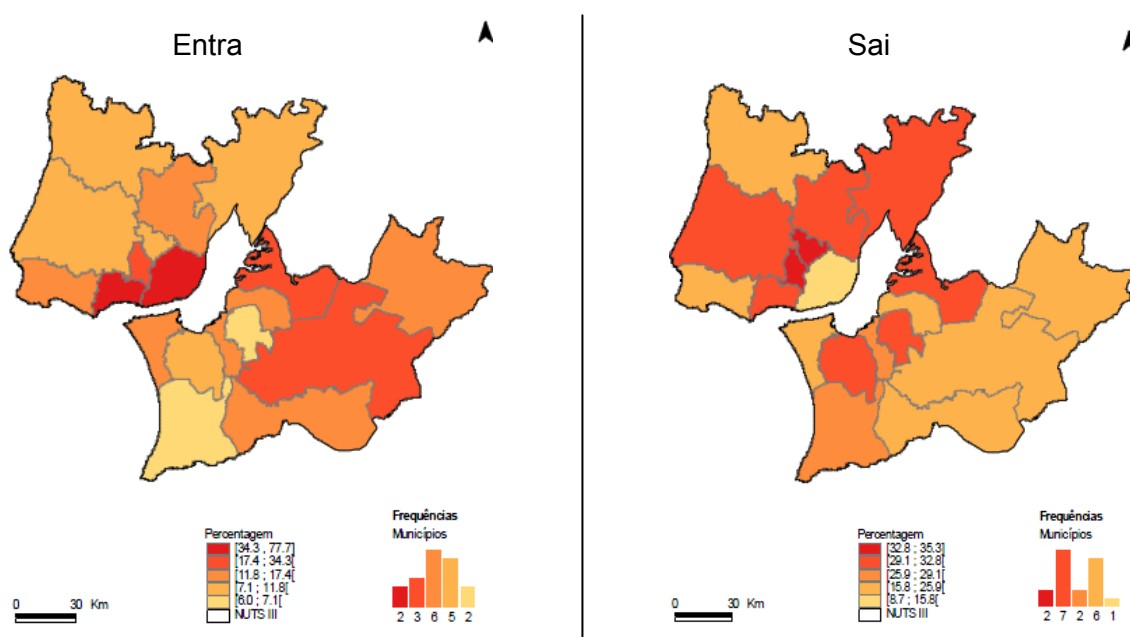


Figura 41- Percentagem da população que entra e sai na região em 2011 (INE, Censos, 2011).

Na última década ocorreu um aumento da amplitude dos movimentos pendulares, isto deveu-se ao surgimento de residências em locais mais distantes do emprego, o que levou ao aumento da distância física e do tempo despendido nas deslocações pendulares entre casa-trabalho/estudo. Segundo o Censos de 2011, dentro da AML, o município de Lisboa é o que regista fluxos de interacção mais fortes, o que demonstra a importância do município de Lisboa, na AML. Observando a figura 42, denota-se que Lisboa apresenta fortes interacções entre Sintra, Cascais, Oeiras e Amadora a Norte e a Sul com os municípios de Setúbal, Sesimbra e Montijo.

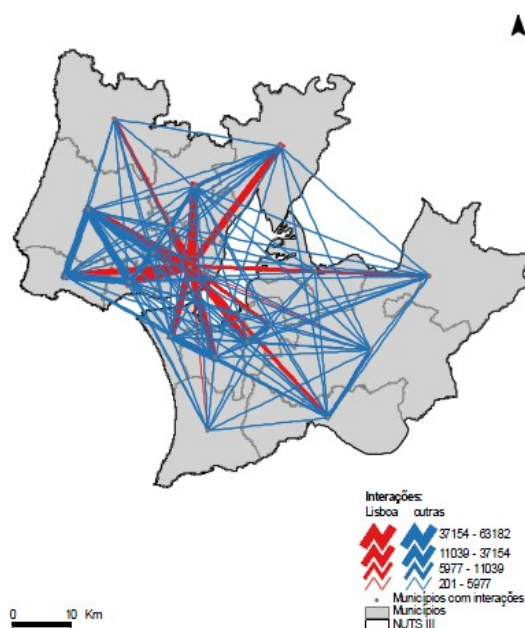


Figura 42 - Movimentos pendulares na AML em 2011 (INE, Censos, 2011).

Ao mesmo tempo que aumentou a distância dos locais de residência aos de emprego, ocorreu também um aumento do tempo médio de deslocação.

Com base no censos de 2011, o tempo médio por deslocação pendular na AML é cerca de 26,4 minutos. Este tempo médio melhorou em relação aos dados do Censos de 2001, em que o tempo médio de deslocação era de 29,8 minutos. Observando a figura 43, o município de Lisboa é o município onde os residentes demoram menos tempo a chegar ao local de trabalho ou de estudo, contabilizando cerca de 23 minutos, valor que contrasta com os municípios do Seixal, Moita, Almada, Barreiro, Sintra e Odivelas, onde o tempo médio é superior e que está entre 27,7 e 32,9 minutos, para se efectuar a deslocação.

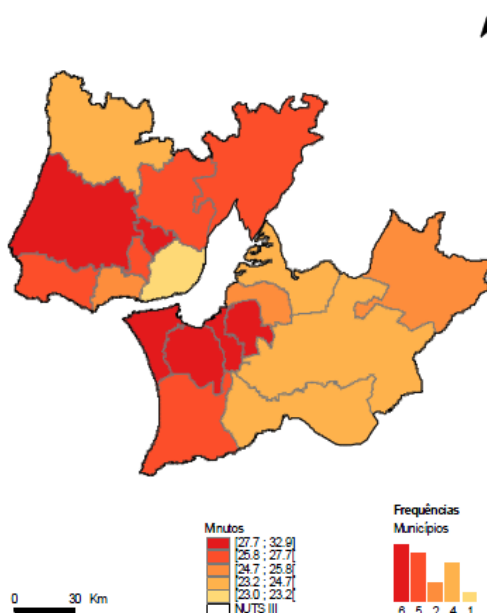


Figura 43 - Tempo médio por deslocação na AML em 2011 (INE, Censos Populacionais, 2011).

Ao nível do modo de transporte mais utilizado nos movimentos pendulares (Figura 44), o automóvel continua a ser o mais utilizado nas deslocações casa trabalho e/ou estudo. Este é utilizado por cerca de 54% da população da AML, quando comparado com o Censos 2001, nota-se que ocorreu um crescimento de 11,6 pontos percentuais no uso de automóvel, como meio de transporte. De salientar que o recurso aos transportes colectivos diminuiu na última década, com o decréscimo na utilização dos autocarros e do comboio, em contraste com o aumento considerável da utilização do metropolitano, para o dobro da sua utilização na década anterior.

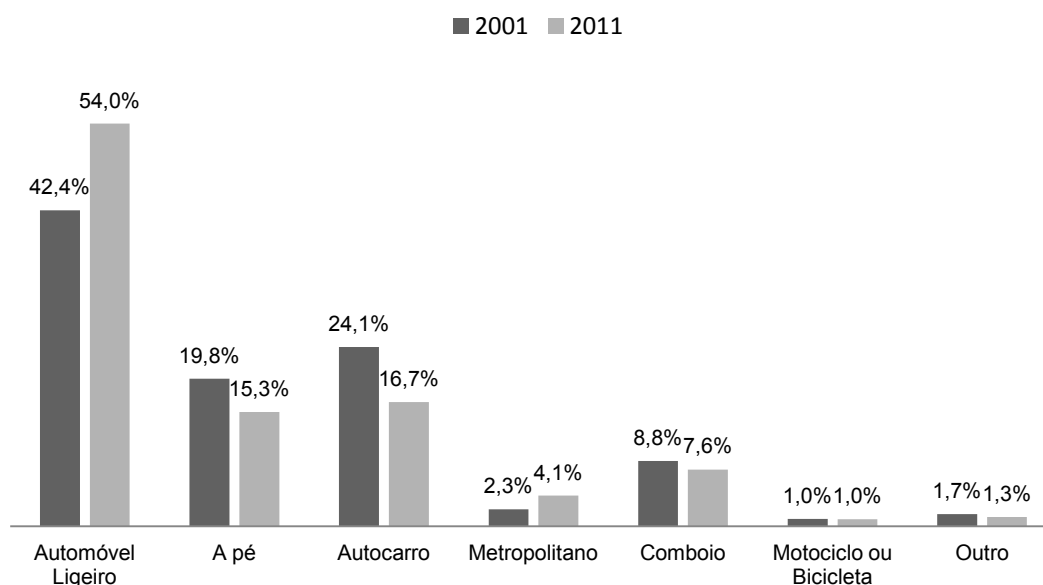


Figura 44 - Modo de transporte utilizado nos movimentos pendulares na AML entre 2001 e 2011 (Adaptado INE, Censos, 2011 - 2001).

6.3 O POTENCIAL PEDONAL DE LISBOA

O município de Lisboa, como maior centro urbano de Portugal, apresenta características económicas e sociais que possibilitam uma forte interação entre o peão e a cidade. Num contexto de emergência de práticas mais sustentáveis e económicas, o “andar a pé” constitui um dos principais meios de deslocação no município de Lisboa. Neste contexto, urge perceber onde existem mais peões em Lisboa, onde intervir para melhorar as condições de deslocação dos peões e que ferramenta utilizar para se analisar as deslocações a pé, para se poder tomar as melhores decisões (CML, 2013).

A grande maioria das ruas e avenidas da cidade de Lisboa apresentam passeios em ambos os lados, ligados entre si por mais de 9000 passagens de peões de superfície, ou seja, para além da rede viária por onde circula o tráfego motorizado, também existe uma rede pedonal por onde circulam os peões (CML, 2013).

Esta rede pedonal é diariamente utilizada nas deslocações a inúmeros edifícios de habitação, serviços públicos, equipamentos de saúde e ensino, estabelecimentos comerciais, estações de metropolitano, paragens de autocarro de onde entram e saem milhares de peões (CML, 2013). Deste modo, as deslocações geram fluxos pedonais que ora se concentram, ora se dispersam (CML, 2013). Esta concentração pode ser de carácter estrutural, no caso das entradas e saídas diárias de uma estação de metropolitano ou de carácter pontual, como por exemplo nos acessos aos estádios de futebol, numa data muito precisa (CML, 2013).

Assim, existem algumas áreas da cidade com maior concentração de fluxos pedonais e outras onde esta concentração é menor. A propensão para a concentração de fluxos pedonais numa determinada área, implica uma tendência para existirem mais peões a circular nos passeios e passadeiras dessa área e a esta tendência para a concentração de fluxos de peões, pode-se designar de potencial pedonal (CML, 2013).

A partir desta ideia partiu-se para a construção de um modelo, suportado num SIG, que permitisse indicar o potencial pedonal de diferentes áreas do município de Lisboa. A este modelo designou-se por Mapa de Potencial Pedonal de Lisboa (MAPPe) (CML, 2013).

6.3.1 O INSTRUMENTO

O MAPPe constitui um dos instrumentos do Plano de Acessibilidade Pedonal de Lisboa, que apresenta importantes funcionalidades para a Câmara Municipal de Lisboa (CML), bem como para várias outras entidades, públicas ou privadas, que apresentem responsabilidades ou interesses ligados à via pública ou neste caso, à rede pedonal (CML, 2013).

Durante a construção do modelo surgiu a necessidade de se criar um conceito, que resumisse a ideia por detrás deste. Assim o MAPPe indica os troços da rede viária, onde actualmente e por razões estruturais são mais prováveis as concentrações de fluxos pedonais. Esta probabilidade é calculada com base em três variáveis: pólos geradores, densidade populacional e rede viária.

De se notar, que a função do MAPPe não é indicar o volume de tráfego de peões em números absolutos, isto é, quantas pessoas transitam numa rua por dia/hora, pois só um sistema de contagens permanentes, tal como um sistema semelhante ao da contagem de tráfego automóvel, o poderia realizar e actualmente a CML não dispõe deste tipo de dados, nem de meios para a contagem de peões (CML, 2013). A função do MAPPe é o de determinar quais as artérias onde a probabilidade de concentração pedonal é mais elevada..

Assim, o MAPPe foi construído com três grandes objectivos, segundo o Plano de Acessibilidade Pedonal da CML (CML, 2013, p.24):

- **Apoiar o conhecimento**

Para conhecer uma rede não basta observar a sua configuração, e quantificar as suas características físicas. É indispensável conhecer o uso que lhe é dado, e o potencial pedonal expressa algumas tendências fundamentais desse uso.

- **Apoiar a compreensão**

O potencial pedonal constitui uma referência objectiva, que, cruzada com outros dados, ajuda compreender melhor alguns fenómenos importantes. Por exemplo, existe alguma correlação entre a distribuição geográfica dos atropelamentos e o potencial pedonal.

- **Apoiar o planeamento e a gestão**

São necessários inúmeros melhoramentos na rede pedonal, e diariamente os municípios enviam à CML novos pedidos de intervenção. Sendo indispensável estabelecer prioridades, o potencial pedonal fornece um critério objectivo (não necessariamente o único) para esse efeito.

6.4 METODOLOGIA

Para a construção do MAPPe, desenvolveu-se uma metodologia que está esquematicamente representada no fluxograma da figura 45 e como se pode observar, foi dividida em três fases de desenvolvimento. Na primeira fase realizou-se a selecção e armazenamento da informação georreferenciada para cada variável, seguida duma segunda fase de análise espacial, onde se procedeu à utilização de metodologias de análise de redes em ambiente vectorial e análise multicritério em ambiente *raster* e numa terceira e última fase, efectuou-se a calibração do modelo e avaliação dos resultados.

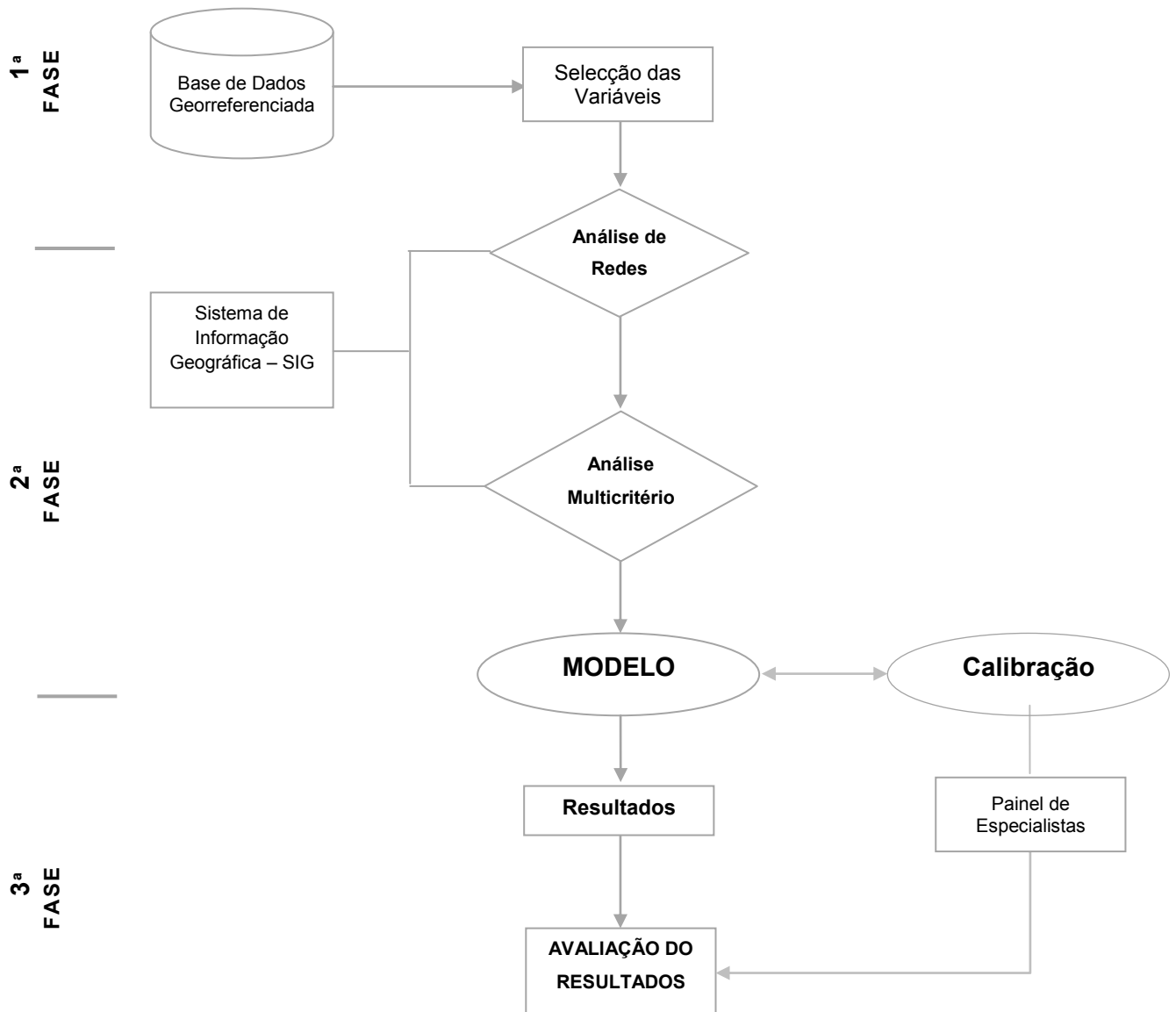


Figura 45 - Fluxograma da metodologia do MAPPe.

6.4.1 DADOS

Uma das premissas deste projecto era a de utilizar única e exclusivamente informação já existente no servidor de SIG, da CML. Toda a informação geográfica, utilizada nesta dissertação, foi tratada no sistema de coordenadas *Hayford-Gauss Datum73*. Este sistema, embora obsoleto para Portugal Continental, ainda se encontra em vigor na CML, apesar do departamento da CML responsável pelos SIG do município, se encontrar a trabalhar na conversão dos dados geográficos do sistema *Hayford-Gauss Datum73*, para o sistema *European Terrestrial Reference System* (ETRS89), que é o sistema recomendado pela *European Reference Frame* (EUREF), para a ligação da rede portuguesa à rede europeia (IGP, 2009).

Depois de uma análise exaustiva, sobre quais os temas que deveriam integrar o MAPPe, organizou-se uma base de dados espacial de raiz (uma *File Geodatabase* no *ArcGIS*), dividida por três tipologias: por pontos, onde se encontra a informação relativa aos pólos geradores (variável 1); por polígonos, que contêm a densidade populacional (variável 2); e por linhas, onde se encontra a rede viária e a rede ciclável (variável 3).

Variável 1: Pólos Geradores

Como já foi anteriormente dito, utilizou-se a ideia de pólos geradores para modelar o fenómeno de concentração de fluxos pedonais. O que sabemos é que as pessoas se deslocam de sua casa para os diferentes equipamentos, para realizar diferentes objectivos, que podem ir desde a escola, passando pelo trabalho e acabando por um equipamento de lazer. Por isso, foram seleccionados um conjunto de equipamentos que representam grande parte dos pólos de atracção de peões em Lisboa.

Ao todo foram exportados mais de 1846 pontos georreferenciados, tendo sido agrupados em nove categorias diferentes, para se tornar o processo de selecção mais rápido e eficiente. No Quadro 4 sintetiza-se a informação exportada por equipamentos, categoria, tipo e número. Dentro dos pontos georreferenciados da CML, é importante realçar que estes foram recolhidos a partir do centróide do equipamento, ou seja, nos grandes edifícios, como é o caso do Hospital de Santa Maria, o ponto representa o local central do equipamento e não a entrada deste. Percebendo esta desvantagem e limitação, mas no entanto tendo-se em consideração que a alteração dos centróides para a entrada dos equipamentos seria uma tarefa demasiado morosa, optou-se por

se utilizar a informação georreferenciada, tal como se encontrava, ou seja, o centróide do equipamento.

Quadro 4 - Quadro síntese dos pólos geradores.

Categoria	Tipo de Equipamento	Nº de Equipamentos
Ensino	Escolas Primárias, Básicas e Secundárias	182
	Ensino Superior	82
Transportes Públicos	Interfaces, Estação de Comboio/ Metro/ Fluvial	66
Comércio	Mercados, Feiras	41
	Grandes Centros Comerciais	14
Turismo	Hotéis, Hostels, Pousadas da Juventude	151
	Monumentos Postos de Informação Turística	71
Desporto	Desporto Formal (Piscinas, Pistas de Atletismo, Pavilhões Desportivos) e Informal	67
Cultura	Teatros, Museus, Bibliotecas e Arquivos	284
Lazer	Parques e Jardins, Cinemas, Miradouros, Estádios	68
Serviços Públicos	Tribunal, Notários, Conservatórias	83
	Serviços da CML, Juntas de Freguesia	312
	Lojas do Cidadão, Instituições Governamentais.	247
	Correios, Finanças, Esquadras da PSP.	103
Saúde	Hospitais Público e Privados	44
	Centros de Saúde	30

Variável 2: Densidade Populacional

Uma das necessidades que se sentiu na construção do MAPPe, foi a de se introduzir uma variável de carácter humano, que representasse também a deslocação dos peões no percurso de e para casa e foi nesta medida que se decidiu utilizar os dados estatísticos mais recentes do INE, para se perceber assim, as dinâmicas dos fluxos pedonais no sentido casa - trabalho/outras actividades - casa.

Neste sentido, foi utilizada a informação da base geográfica de referenciação de informação (BGRI) do INE, relativa aos Censos 2011. Esta informação encontra-se numa estrutura de polígonos, cuja unidade mais elementar representável é a subsecção estatística, que foi utilizada no MAPPe, por ser a que apresenta um menor grau de generalização e se poder assim aumentar a fiabilidade do MAPPe. Segundo o INE, uma subsecção estatística “*constitui o nível máximo de desagregação e*

caracteriza-se por estar associada ao código e ao topónimo do lugar de que faz parte, correspondendo ao quarteirão em termos urbanos” (INE, 2001, p.69).

Nesta variável, sentiu-se a necessidade de se utilizar a densidade populacional, em detrimento da população residente porque, a densidade populacional vai ser uma medida que vai permitir relacionar a população residente com a área da subsecção, sendo assim possível fazer comparações entre as várias subsecções estatísticas. Para a resolução deste problema os SIG apresentam uma vantagem, porque possibilitam o cruzamento entre campos de uma tabela e neste caso, como temos acesso aos números da população residente, por subsecção estatística e a área da subsecção, podemos utilizar a seguinte fórmula para se calcular a densidade populacional por subsecção:

$$Dens.Pop. = \frac{Pop. Residente}{Area}$$

Em que a *Pop. Residente* representa a população residente por subsecção estatística, a *Area* é referente à área da subsecção em Km^2 e a *Dens.Pop* é uma e expressa em *hab/Km²*. A figura 46 representa o mapa de Densidade Populacional de Lisboa, à subsecção estatística.

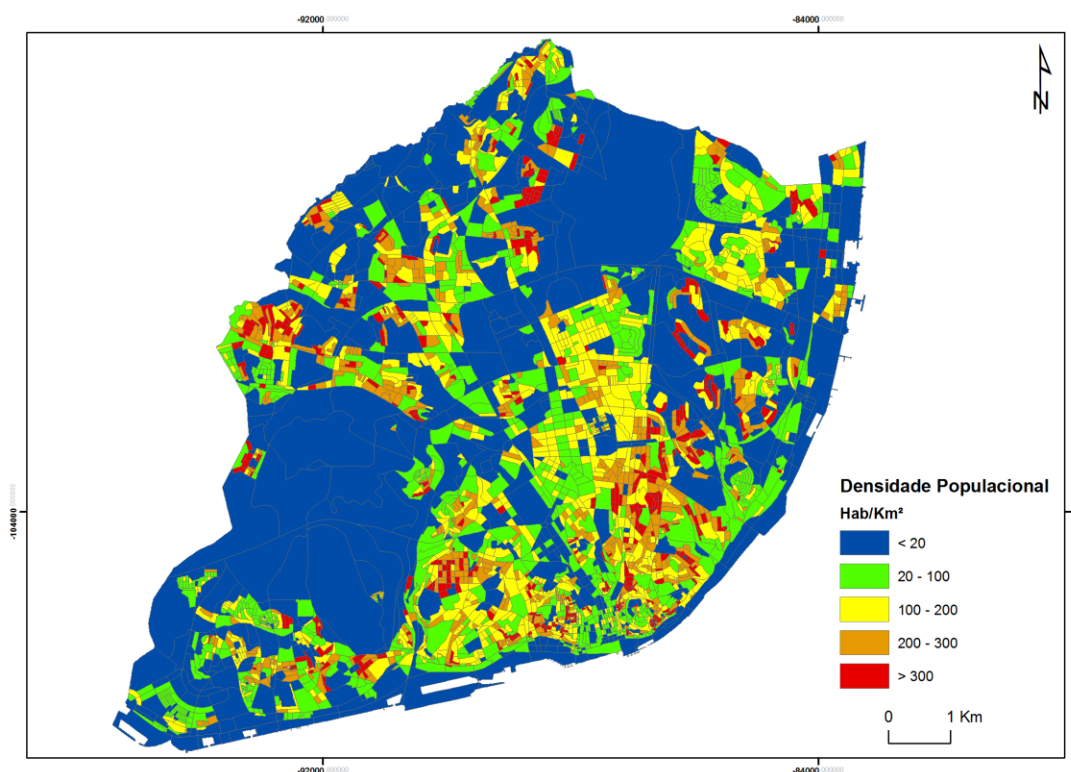


Figura 46 - Densidade populacional de Lisboa por subsecção estatística em 2011 (INE, Censos Populacionais 2011).

Variável 3: Rede Viária

A terceira e última variável do MAPPe é a infra-estrutura, por onde circulam os peões. O que se sabe é que os peões circulam pelo passeio, mas esta informação ainda se encontra numa fase inicial de vectorização, não sendo possível a sua utilização na elaboração do primeiro MAPPe. Dada esta limitação, optou-se por se utilizar como infra-estrutura de circulação de peões, a rede viária (Figura 47), ou seja, partiu-se do pressuposto que existe sempre segregação de via para o passeio. Também se utilizou a informação da rede ciclável, por este tipo de via ser utilizado pelos peões, como infra-estrutura de circulação.

A informação da rede viária e a rede ciclável são fundamentais para a construção do MAPPe porque, permitiram a construção da rede pedonal, no *Network Analyst*, e constituíram um dos critérios para a análise e a realização da análise multicritério.

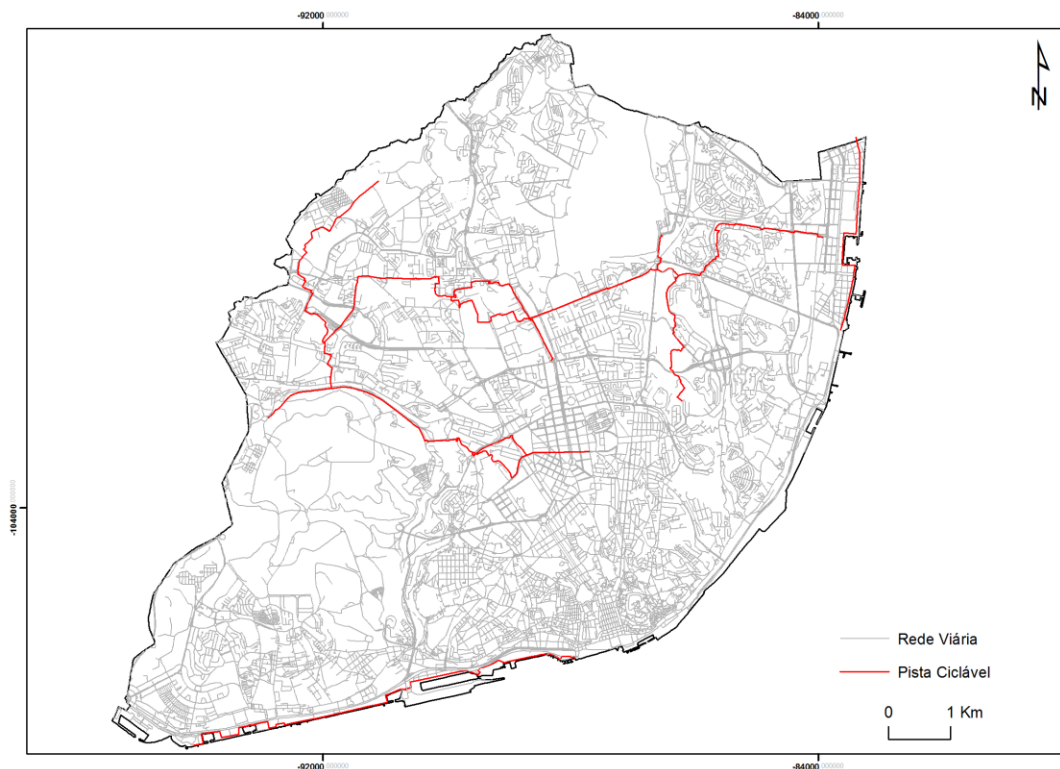


Figura 47 - Rede Viária e Rede Ciclável de Lisboa.

6.4.2 A REDE E ANÁLISE POR ÁREA DE INFLUÊNCIA

Posteriormente à aquisição e armazenamento da informação passou-se à análise espacial dos dados. Para a elaboração do MAPPe, realizou-se uma primeira análise de proximidade da informação espacial e para isso, testaram-se duas metodologias diferentes para se medir as distâncias dos pólos geradores do MAPPe. Utilizou-se uma análise de proximidade a partir de *buffers* de distância linear e uma análise de redes, em que esta última se apresentou como a mais favorável à análise pretendida, uma vez que a determinação da distância linear não é a mais correcta, porque o espaço não é isotrópico e a deslocação dos peões no território está condicionada pelos obstáculos que existem no espaço, sendo por isso mais correcto a determinação da distância na rede.

Para a modelação da rede procedeu-se da seguinte forma:

- **Preparação dos dados para a rede**

A rede viária de Lisboa foi a informação utilizada para a construção da rede, que se encontra num modelo de dados vectorial, do tipo linha. Para tal, foi necessário preparar esta informação, eliminando alguns eixos de via, que pela sua especificidade, não tinham sentido integrar a rede. Neste caso foram eliminados os eixos de 1º nível, onde é proibida a circulação de peões, segundo o PDM de Lisboa e também se eliminou toda a 2º Circular, visto que grande parte desta se encontra no 1º nível, apesar de uma parte do percurso ser considerado de 2º nível. Por outro lado foi adicionada a rede de ciclovias de Lisboa, por ser uma infra-estrutura onde se sabe que circulam peões. Esta rede viária previamente preparada, com a rede de ciclovias, denominou-se por “Rede Viária Pedonal”.

Depois da preparação da “Rede Viária Pedonal”, não houve a necessidade de se criar nenhum campo para se modelar posteriormente algum atributo na rede, visto que a análise apenas vai incidir na distância linear, bastando, por isso, ter apenas o campo relativo à extensão de cada linha da rede viária.

- **Construção da Rede**

Após a preparação da informação da *Rede Viária Pedonal*, e como esta informação se encontra numa base de dados utilizou-se o *Network Dataset* presente no *ArcCatalog* da *ESRI*, que serve para a construção de redes em SIG. Neste caso denominou-se a rede criada por “Pedonal_Network_Lisboa” (Figura 48).

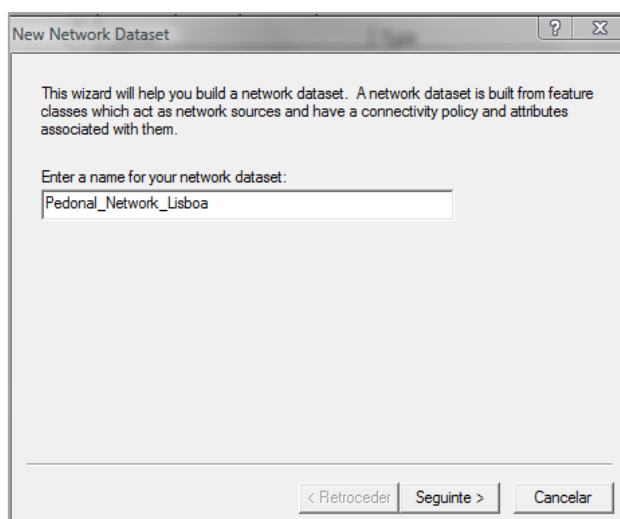


Figura 48 - Nome da rede.

Posteriormente criaram-se os grupos de conectividade e que neste caso apenas existia um grupo, com a regra de conectividade por *End Point* (Figura 49).

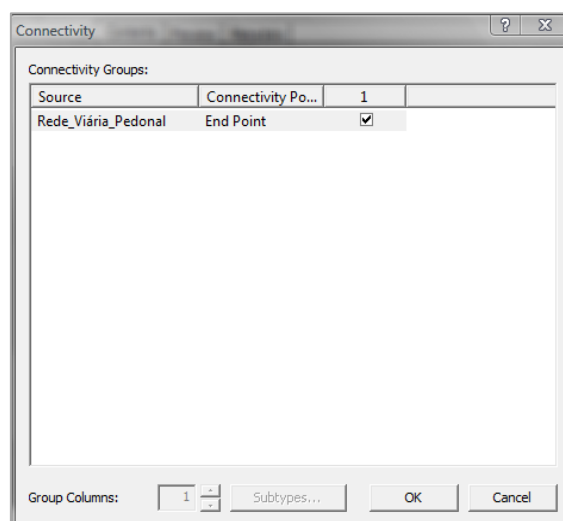


Figura 49 - Grupos de conectividade da rede.

Não houve a necessidade de se modificar a conectividade por algum campo de elevação e definiu-se que o modelo de mudanças de direcção seria assumido por defeito, as *Global Turns*. Decidiu-se que seria apenas escolhido um único atributo, para a análise da rede, que foi o “*Meters*”, do tipo custo com o Avaliador “*Shape Length*” (Figura 50). Este atributo, em metros, assume a extensão de cada arco e será muito importante para posteriormente se seleccionarem as áreas de influência dos pólos geradores. Os valores do avaliador são provenientes do campo “*Shape_Length*” da informação vectorial do ficheiro “Rede Viária Pedonal”.

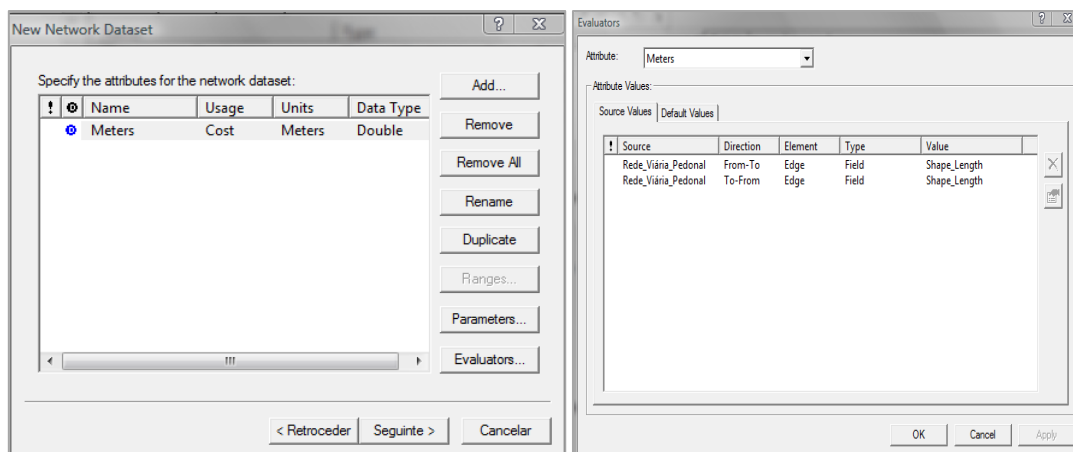


Figura 50 - Atributo “Meters” da rede e avaliador do atributo.

Posteriormente à atribuição do avaliador ao atributo “Meters”, é possível a definição das direcções. Neste caso não foi seleccionado qualquer campo para a definição de direcções.

▪ **Análise das áreas de influência**

Depois de se construir a Rede, utilizou-se o módulo do *ArcGIS, Network Analyst*, para se determinar as *Service Area*, ou seja, as áreas de influência das diferentes categorias de pólos geradores de tráfego pedonal, onde foram realizadas análises para as nove categorias de pólos geradores.

Optou-se por se determinar para cada ponto, três áreas de influência, para 100, 250 e 500 metros do pólo gerador. Escolheram-se estas três distâncias porque, se considera que 100 metros é uma distância razoável para os peões e mais de 500 metros se torna uma distância difícil para a deslocação a pé, a partir da qual os peões começam a preferir deslocar-se por meio de um transporte público ou particular (CML, 2013). A figura 51 é representativa deste processo e refere-se apenas à área de influência da categoria de transportes públicos.

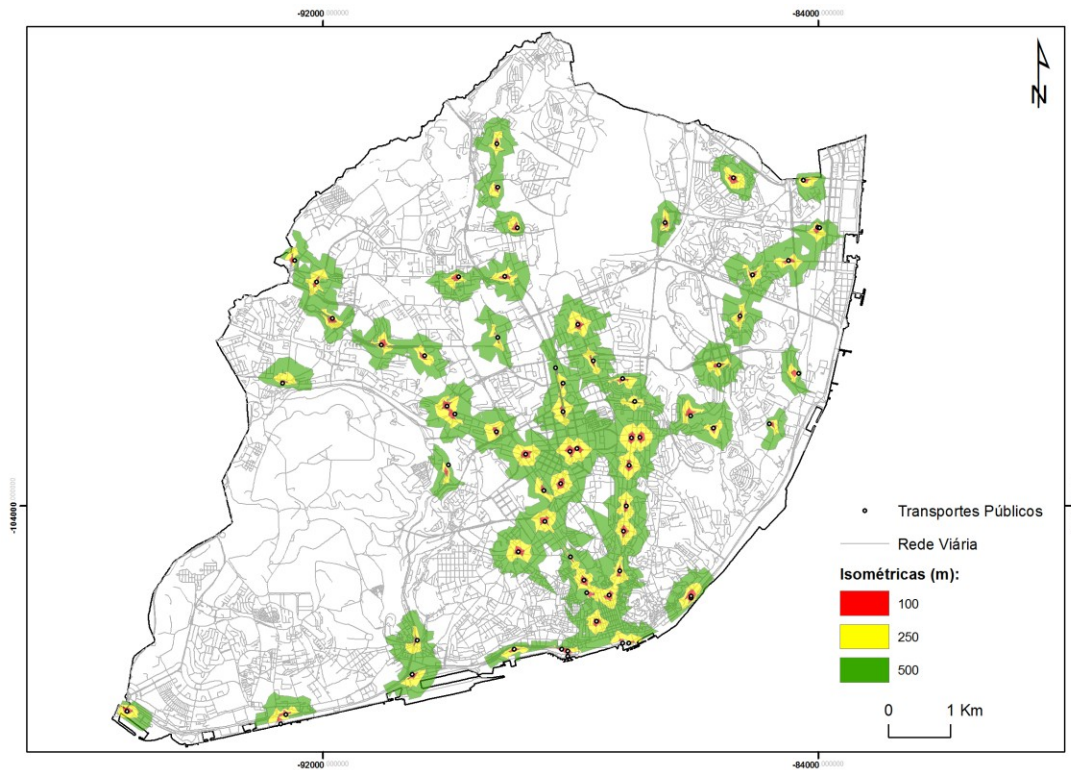


Figura 51- Áreas de influência da categoria transportes públicos.

Antes de se iniciar a segunda fase da análise espacial do MAPPe, procedeu-se à distinção das áreas de influência dos pólos geradores, pois há uma relação directa entre a distância aos pólos geradores e a concentração de peões existente, havendo uma maior concentração de peões a 100m de pólo gerador, do que a mais de 500m deste (CML, 2013). Por isso, decidiu-se utilizar uma metodologia de atribuição de pontos entre 0 e 100 (Quadro 5) em que os valores de pontuação perto de 0 apresentam uma concentração baixa de peões e os valores próximos de 100 apresentam uma concentração alta de peões para o pólo gerador em análise. Esta distinção por pontos vai ser importante porque, vai permitir distinguir as diferentes áreas de influência, resultantes da análise de redes, no seu grau de importância.

Quadro 5 - Pontuação para as diferentes Isométricas.

Distância (m):	Pontuação (0-100):
0-100m	80 Pontos
100-250m	60 Pontos
250-500m	40 Pontos
+500m	1 Ponto

Mediante a atribuição de pontos do quadro 5, obtêm-se os resultados representados na figura 52 para as áreas de influência da categoria transportes públicos.

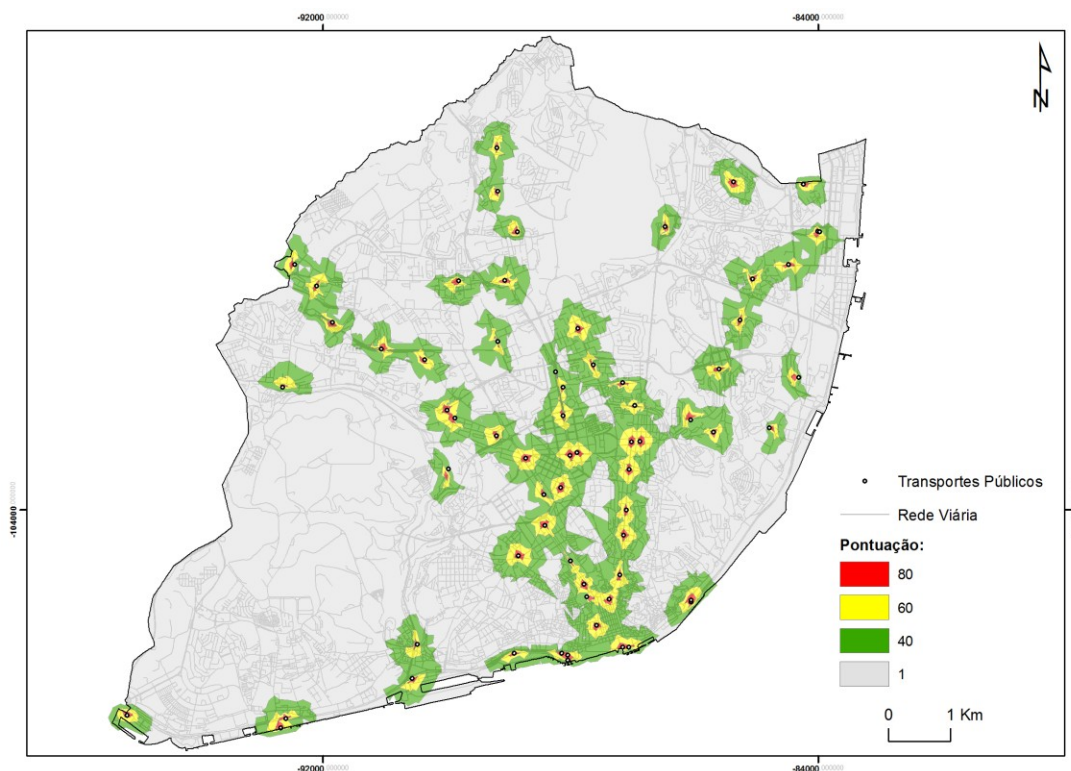


Figura 52 – Atribuição de pontos para as áreas de influência da categoria transporte públicos.

Uma das vantagens da atribuição de uma pontuação é na conversão para *raster* das áreas de influência, que se encontram em formato vectorial, com o valor de cada célula (*pixel*) a ser definido por esta pontuação. Este processo de conversão da informação vectorial para *raster*, também foi realizado para a variável 2 referente à densidade populacional e da variável 3 rede viária. Este processo foi executado a partir do módulo *Spatial Analyst* do *ArcGIS*, e os dados convertidos vão ser utilizados na segunda fase de análise.

6.4.3 A ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Na segunda fase da análise espacial, depois da conversão da informação foi realizado uma análise multicritério, que se desenvolveu em três fases distintas. Na primeira avaliou-se o peso que cada sub-critério (categoria de equipamento) iria deter no critério 1 (Pólos Geradores), numa segunda fase procedeu-se à normalização dos critérios 1 (Pólos Geradores) e 2 (Densidade Populacional), para que na terceira e última fase, se efectuasse uma combinação linear ponderada, de todos os critérios.

No critério 3 referente à rede viária, não houve a necessidade de se fazer uma avaliação dos pesos, nem normalização, por este critério ser do tipo Booleano (0,1),

ou seja, 0, representa a ausência e 1, a possibilidade de circulação de peões pelo passeio.

▪ Avaliação dos Pesos para cada sub-critério dos Pólos Geradores

A avaliação dos pesos foi realizada apenas para o critério 1, pólos geradores de tráfego pedonal, visto ser este o que apresenta o maior número de sub-critérios, que neste caso são referentes à pontuação das áreas de influência de cada categoria de pólo gerador, resultantes da análise de redes realizada no ponto anterior.

De forma a se poder obter os pesos para cada sub-critério de pólo gerador, foi realizado um inquérito a um grupo de especialistas do Departamento de Planeamento de Mobilidade e Transportes e a um grupo de cidadãos de Lisboa (Questão do inquérito no anexo 2), perfazendo um total de 98 respostas. No inquérito foi pedido que se indicasse, numa escala de dez pontos, onde era mais provável a presença de fluxos pedonais (Os resultados do inquérito estão presentes no anexo 3). Após este processo foi possível obter os pesos a utilizar para cada sub-critério, os quais são apresentados no Quadro 6.

Quadro 6 - Pesos dos sub-critérios dos pólos geradores.

Sub-critério	Peso
Ensino	0.81
Transportes Públicos	0.89
Comércio	0.76
Turismo	0.65
Desporto	0.56
Cultura	0.55
Lazer	0.68
Serviços Públicos	0.75
Saúde	0.69

Depois da determinação dos pesos foi necessário multiplicar cada sub-critério pelo seu peso e posteriormente somar estes para determinar o critério 1 referente aos Pólos Geradores foi utilizada a seguinte expressão:

$$C1 = \sum_i^n \frac{w_n \times i_n}{n}$$

Em que o valor final do critério 1 pólos geradores é o somatório da multiplicação de w , que é o peso de cada sub-critério, i , é à pontuação das áreas de influência de cada sub-critério e n é o número de sub.critérios, resultando na informação representada na figura 53.

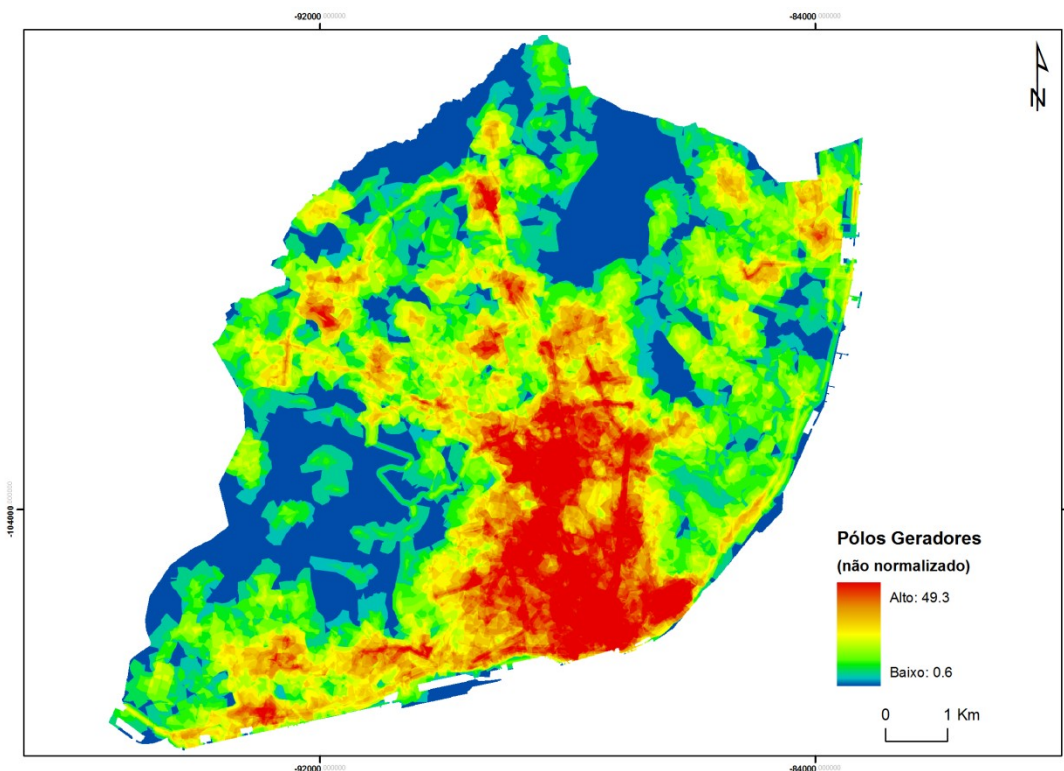


Figura 53 - Critério 1 pólos geradores.

▪ Normalização dos Critérios

Como a avaliação dos pesos para cada critério origina gamas de valores não comparáveis, é necessário normalizá-los numa escala, para que depois se proceda à sua combinação. Neste caso efectuou-se a normalização para o critério 1, pólos geradores (figura 54) e também do segundo critério, referente à densidade populacional (figura 55).

Para o MAPPe optou-se por escolher a seguinte normalização:

$$x_i = \frac{(R_i - R_{Min})}{(R_{Max} - R_{Min})}, \forall i \in \{0,100\}$$

Onde para cada critério i , R_i é o valor do *píxel* a normalizar e R_{Min} e R_{Max} são respectivamente o mínimo e o máximo do critério.

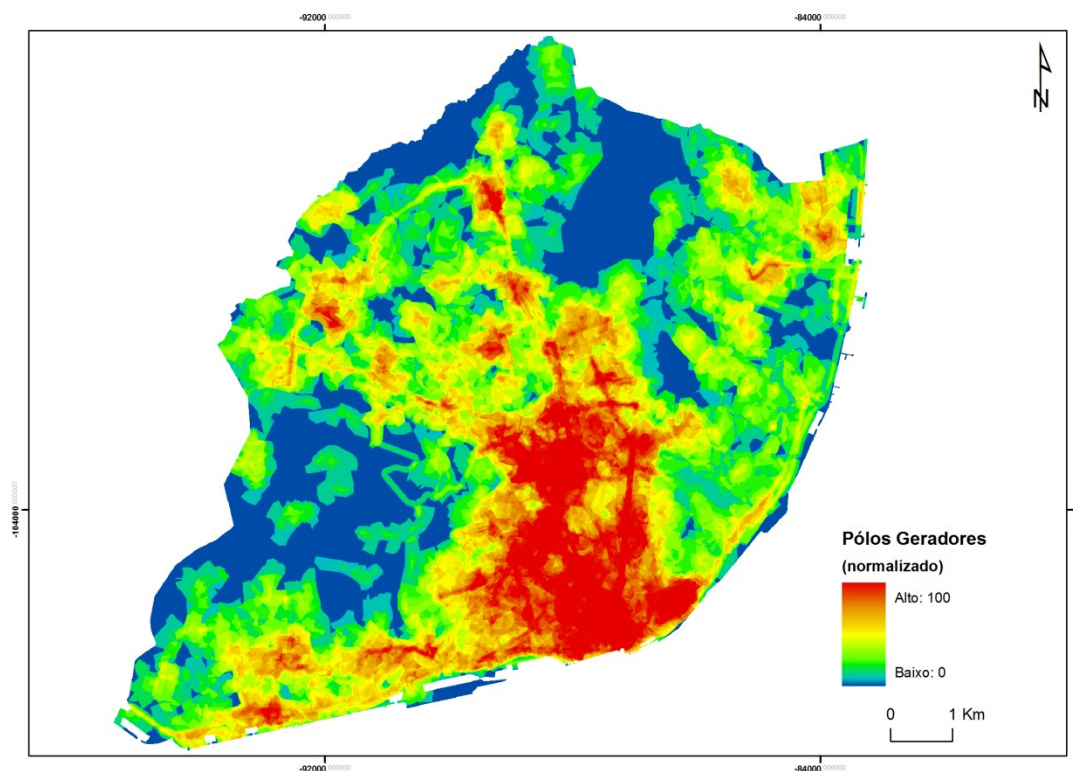


Figura 54 - Critério 1 pólos geradores normalizados.

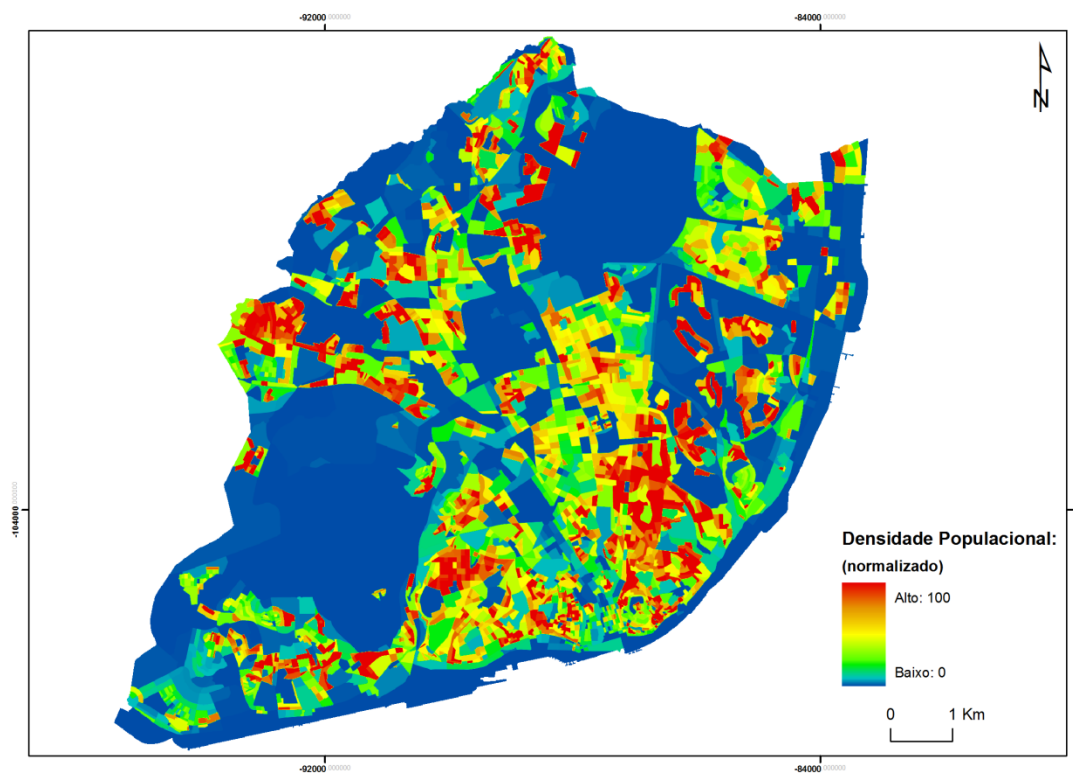


Figura 55 - Critério 2 densidade populacional normalizada.

▪ **Combinação Linear Ponderada**

Finalizada a normalização dos critérios, estes podem ser combinados segundo alguns procedimentos, os valores das ponderações a dar ao critério pólos geradores e o critério da densidade populacional foram definidos pela equipa do Núcleo de Acessibilidade Pedonal da CML. Assim, para a combinação dos critérios utilizados no MAPPe, utilizou-se a seguinte expressão:

$$\mathbf{MAPPe} = (0.65 \times \mathbf{C1N} + 0.35 \times \mathbf{C2N}) \times \mathbf{C3B}$$

C1N – Pólos Geradores Normalizados.

C2N – Densidade Populacional Normalizada.

C3B – Rede Viária (0, 1 do Tipo Booleano).

A ponderação dos critérios como anteriormente salientada foi definida pela equipa do Núcleo de Acessibilidade Pedonal da CML e o valor de ponderação é superior para o critério 1 os Pólos Geradores (0.65) porque se percebeu que este critério tem uma importância superior ao critério 2 (0.35) a densidade populacional.

6.5 ANÁLISE GLOBAL DO MAPA

Numa primeira análise global do MAPPe (Figura 56), sem recurso a qualquer ferramenta de análise, observamos a existência de uma área central com um elevado potencial pedonal, uma segunda coroa relativa à área central, com potencial médio, onde surgem pólos com potencial pedonal elevado e por fim áreas periféricas do município, com potencial pedonal reduzido.

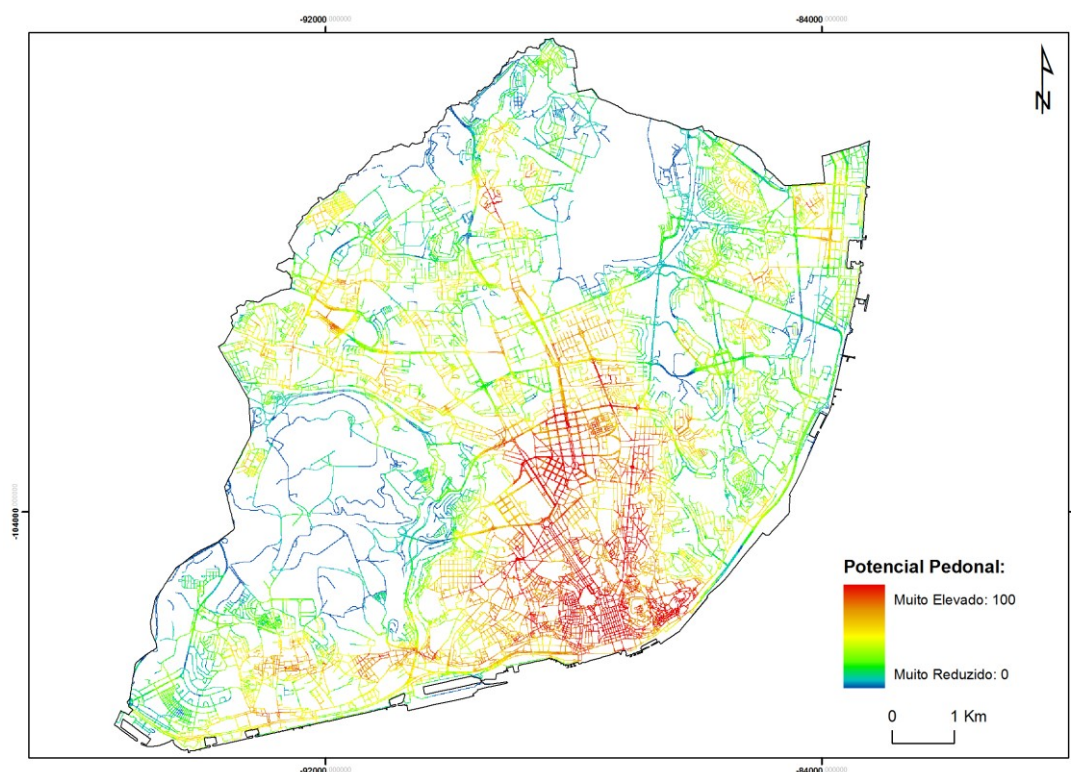


Figura 56 - Mapa de Potencial Pedonal de Lisboa – MAPPe.

Deste modo, o MAPPe vem fortalecer o modelo de desenvolvimento territorial e os principais elementos da estruturação territorial de Lisboa (CML, 2011) integrados no Plano Director Municipal (Figura 57). Verifica-se que as áreas de potencial pedonal mais elevado se encontram numa área mais central de Lisboa, entre a Baixa, as colinas e toda a extensão ao longo dos eixos da Av. da Liberdade e da Av. Almirante de Reis, até ao limite de Entrecampos e Alvalade. Depois da área central existe uma coroa que apresenta áreas de potencial pedonal médio, como Campo de Ourique, no entanto ao longo do município existem pólos com um potencial pedonal assinalável, como por exemplo o Parque das Nações, Alta de Lisboa, Benfica, Alcântara e Ajuda. Por outro lado, as zonas com menor concentração de potencial pedonal encontram-se na periferia da cidade, ou seja, em Monsanto e Aeroporto, mas sobretudo ao longo das grandes vias de tráfego (CML, 2013).

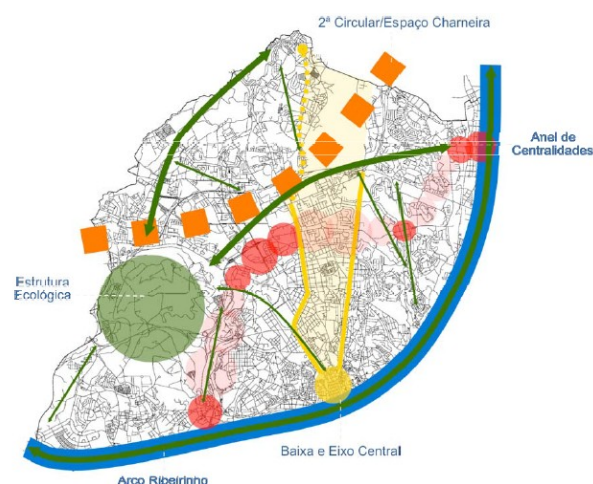


Figura 57 - Modelo de desenvolvimento territorial de Lisboa (CML, 2011).

Recorrendo à ferramenta SIG podemos aumentar o grau de detalhe da análise e recolher informação relevante e mais pormenorizada dos locais onde existe um potencial pedonal elevado, segundo dados retirados do MAPPe.

Tal como se pode ver no Quadro 7, referente à percentagem da rede viária por potencial pedonal, observa-se que cerca de 28% da rede viária tem um potencial elevado e muito elevado. Seleccionando unicamente as áreas de potencial pedonal muito elevado, observamos quais são as ruas com o potencial mais elevado dentro da área central, como é o caso do Rossio, Rua da Palma, Largo do Martim Moniz ou a Avenida Duque de Ávila, que são espaços diferentes e com matrizes sociais distintas, mas que apresentam uma forte concentração de fluxos pedonais. Por outro lado, também temos acesso aos locais com potencial mais reduzido, que se caracterizam por serem locais mais periféricos e neste caso, cerca de 22,8% da rede apresenta potencial muito reduzido, mas é necessário ter-se em atenção que este valor não representa a ausência de pessoas a circular nessas áreas, mas sim que a concentração de fluxos pedonais, devido à atracção de pólos geradores de tráfego relacionados com a densidade populacional, é baixa.

Quadro 7 - Percentagem da rede viária por potencial pedonal.

Potencial Pedonal	% da Rede Viária
Muito Elevado	12.3
Elevado	16.0
Médio	22.1
Reduzido	26.7
Muito Reduzido	22.8

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E FUTUROS DESENVOLVIMENTOS

Nesta dissertação foi desenvolvido um instrumento de apoio à decisão, traduzido no Mapa de Potencial Pedonal de Lisboa, elaborado com base em análises espaciais realizadas a partir de um SIG.

A aplicação de Sistemas de Informação Geográfica, na construção do MAPPe, surgiu no sentido de se aproveitar as capacidades que estes têm na gestão e manutenção da informação geográfica. Neste âmbito, os SIG podem ser vistos como uma ferramenta ou ciência, mas mais concretamente neste caso de estudo, os SIG são claramente a ferramenta que permitiu construir o MAPPe. No entanto, sem os algoritmos de análise espacial presentes nos SIG, esta ferramenta seria incapaz para a construção do MAPPe. Assim, é necessário que exista uma ciência que estude e desenvolva os SIG, tanto a nível de hardware, software, métodos e dados, para que os utilizadores empreguem os SIG como uma das suas principais ferramentas de trabalho.

As operações de análise espacial em SIG permitem-nos realizar diversas análises no território, sendo possível modelar fenómenos. Para modelar o fenómeno do potencial pedonal foram utilizadas duas análises espaciais distintas, a análise de redes e a análise multicritério.

A escolha da utilização da análise de redes (em ambiente vectorial), em detrimento de uma simples análise de proximidade por *buffer*, permitiu aumentar o rigor do modelo. Esta opção aproxima mais o modelo da realidade, por calcular a distância na rede viária e não a partir de uma distância linear constante, em que o espaço é isotrópico, o que na realidade não acontece, pois existem edifícios e outras infra-estruturas que condicionam a deslocação dos peões ao longo do espaço.

A utilização de uma análise multicritério, já em ambiente *raster*, permitiu afinar o modelo, permitindo assim a selecção de diferentes pesos para os sub-critérios dos pólos geradores e a normalização dos critérios para uma combinação final destes. Para a definição dos pesos foi efectuada não só um inquérito, a um conjunto de especialistas da CML, mas também à população que vive em Lisboa, para se perceber quais os sub-critérios que teriam mais influência nos pólos geradores de tráfego pedonal. No final da análise multicritério, a ponderação definida para a combinação dos critérios, esteve a cargo da equipa do Plano de Acessibilidade Pedonal.

Numa primeira análise dos resultados do MAPPe foi possível identificar as áreas onde o potencial pedonal é elevado ou reduzido, mas outra possibilidade que o

MAPPe permite efectuar, é o cruzamento entre a sua informação, com outra informação espacial e neste caso já se realizou o cruzamento dos dados do MAPPe com os dados do SINAL (Sistema de Informação dos Atropelamentos de Lisboa), relativamente aos atropelamentos entre 2010-2011 (figura 58), não tendo sido possível cruzar com o ano de 2012, visto ainda não se ter acesso aos dados georreferenciados de todo o ano mas apenas ao primeiro trimestre de 2012. Deste modo, os dados do quadro 8 e figura 59, resultam do cruzamento entre o MAPPe e os dados dos Atropelamentos de 2010-2011, que revelam que cerca de 50% dos atropelamentos em 2010 e 2011 ocorreram em áreas de potencial pedonal elevado e apenas 10% a 17%, em áreas de potencial pedonal muito reduzido. Na realidade isto permite perceber que nas áreas de fluxos pedonais fortes, há uma maior propensão à ocorrência de atropelamentos, podendo o MAPPe ser uma instrumento de apoio à prevenção dos atropelamentos, indicando quais as áreas onde se deve intervir de forma estrutural ao nível da via ou melhoria da sinalização, como também na sensibilização social da área em questão, com campanhas de prevenção e formação.

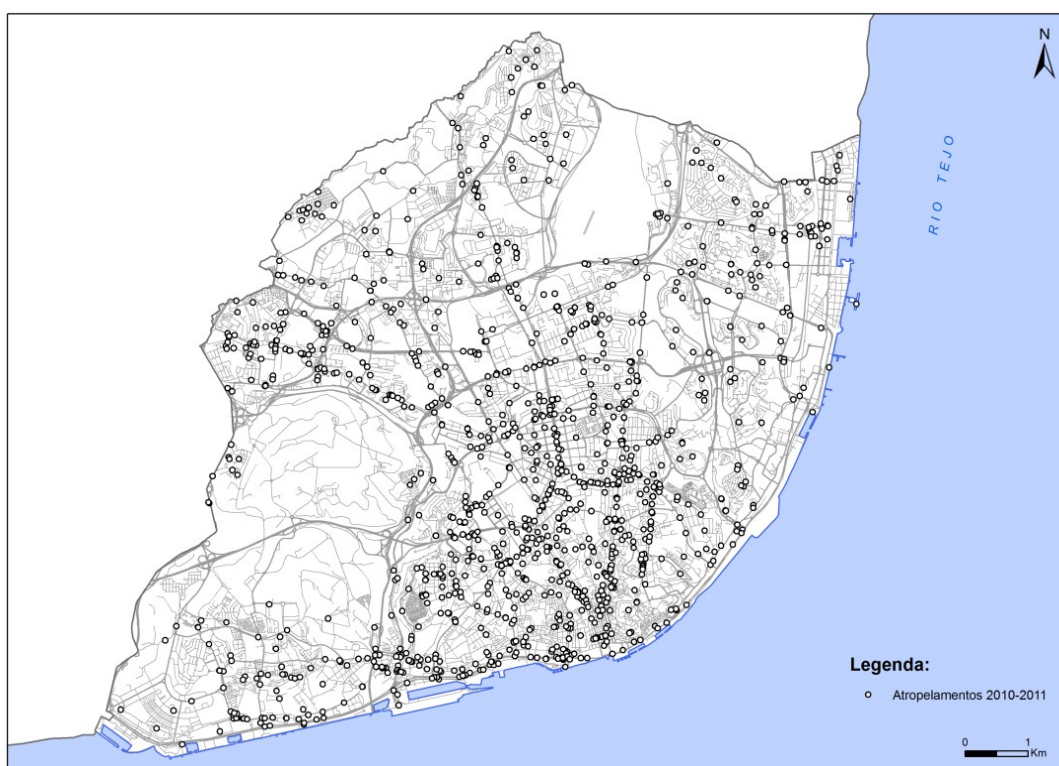


Figura 58 - Atropelamentos em Lisboa entre 2010-2011 (Adaptado CML, 2013).

Quadro 8 - Cruzamento entre o MAPPE e os dados dos atropelamentos de 2010-2011

	Área de Potencial Pedonal (%) da Rede Viária	Nº de Atropelamentos em 2010	% de Atropelamentos	Nº de Atropelamentos em 2011	% de Atropelamentos
Muito Elevado	12.3	144	23.3	149	22.1
Elevado	16.0	176	28.4	175	25.9
Médio	22.1	134	21.6	154	22.8
Reduzido	26.7	98	15.8	82	12.1
Muito Reduzido	22.8	67	10.8	115	17.0
Total de Atropelamentos		619	100	675	100

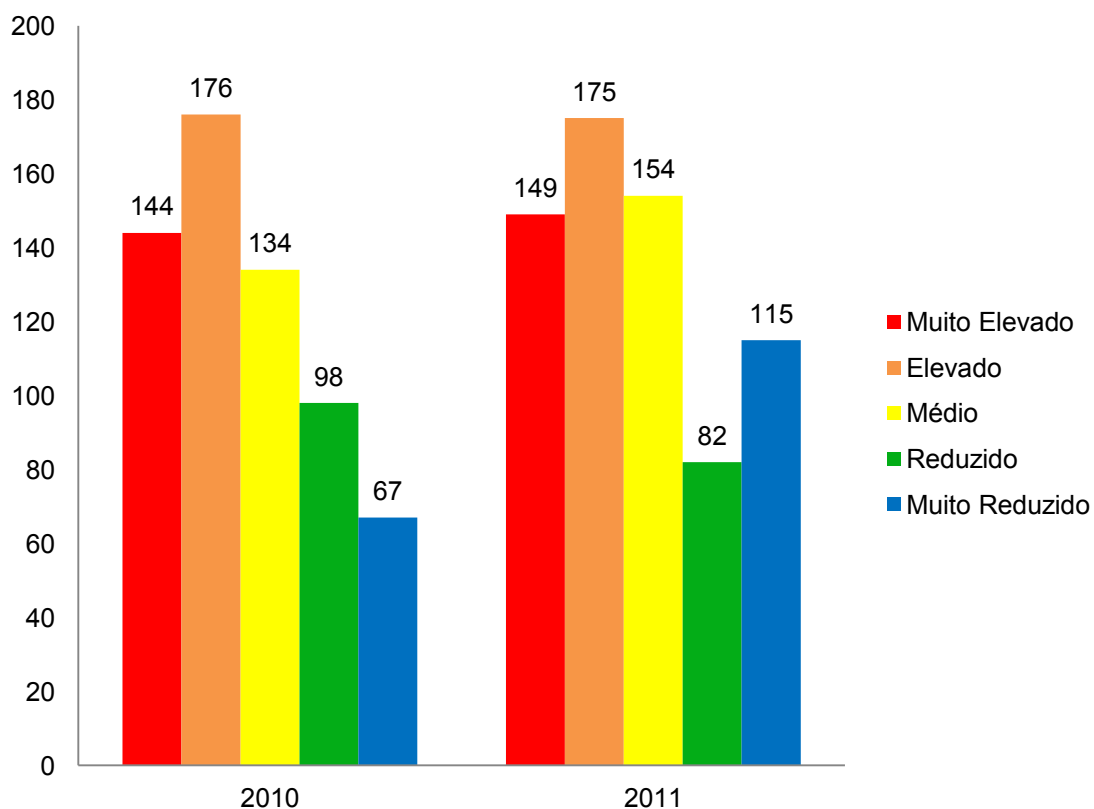


Figura 59 - Cruzamento entre o MAPPe e os dados dos atropelamentos de 2010-2011

As vantagens do MAPPe como instrumento de apoio à decisão são grandes, contendo um leque enorme de potencialidades ainda por explorar e que pode ser utilizada no apoio à decisão por parte dos Departamentos da CML, para a selecção das áreas de intervenção prioritária. Tem também como vantagens a sua fácil gestão, manutenção e actualização, devido à existência de uma base de dados espacial, sendo possível também uma fácil disponibilização da informação por concelho,

freguesia, unidade de intervenção territorial ou bairro a partir de um qualquer *software* SIG, mas como qualquer modelo este também apresenta limitações que necessitam ser corrigidas para aumentar assim a fiabilidade do modelo. Algumas das desvantagens deste modelo prendem-se pela georreferenciação ao centróide dos pólos geradores, a utilização da rede viária como infra-estrutura de deslocação dos peões em vez da rede pedonal, devido à inexistência desta informação na CML, mas também porque o modelo é estático e não tem em atenção a variável tempo. Esta variável pode ser importante porque, determinada hora pode influenciar o potencial pedonal de determinadas áreas, como exemplo simples o potencial pedonal de uma estação de metropolitano pode ser muito superior nas horas de ponta em relação às restantes horas.

Apesar das potencialidades das análises espaciais e dos SIG na construção do MAPPe, julga-se que existem insuficiências que no futuro deverão ser alvo de adaptações e melhoria. Estes aspectos prendem-se com os desenvolvimentos futuros que o MAPPe deverá vir a ter e que são os seguintes:

a) Integração de dados relativos à entrada e saída de pessoas dos Pólos Geradores.

Uma das potencialidades é a calibração dos pesos dos pólos geradores a partir do número de pessoas que diariamente frequentam um determinado pólo gerador, seria importante determinar quais são as estações de metropolitano que tem mais fluxo de entrada e saídas para perceber dentro destas quais são as estações mais importantes, este caso aplica-se a todos os outros equipamentos dos pólos geradores.

b) Integração da rede pedonal em detrimento da rede viária.

Uma das desvantagens já assumidas do MAPPe é a utilização da rede viária como infra-estrutura por onde se deslocam os peões, assim no futuro é indispensável que se substitua a rede viária pela rede pedonal local por onde se deslocam os peões, a informação da rede pedonal será útil para se realizar a análise de redes dos pólos geradores desta vez a partir da rede pedonal e posteriormente para a análise multicritério na combinação dos critérios (sendo a rede pedonal um critério binário de presença ou ausência da deslocação de peões).

c) Criação de uma aplicação a partir do Modelbuilder para gerir e automatizar o modelo do MAPPe.

Para facilitar a gestão e manutenção do MAPPe seria importante construir uma aplicação que automatizasse o modelo para quando houvesse a necessidade de se actualizar o modelo não fosse necessário construir de raiz o modelo.

d) Disponibilização do MAPPe.

Um dos objectivos do MAPPe é a disponibilização da informação aos departamentos da CML, Juntas de Freguesia mas também para o público em geral, esta disponibilização poderá ser realizada no WebSIG da CML o Lisboa Interactiva, a partir deste será possível restringir o acesso dos utilizadores sendo possível aos funcionários da CML descarregarem o MAPPe como ficheiro *raster* para visualização e análise nos seus próprios software SIG, os utilizadores públicos apenas poderão visualizar a informação a partir do seu navegador de internet.

Em suma, a construção do MAPPe a partir de um SIG e com o recurso a análises espaciais, tem como objectivo contribuir para o avanço na decisão das políticas de gestão do espaço público, mas também apoiar as empresas e a investigação, para que se possam desenvolver novos conhecimentos e instrumentos para melhorar a eficiência das políticas afectas aos peões. Deste modo, podem-se promover os modos suaves de mobilidade como uma alternativa eficaz nas deslocações de curta distância e como complemento importante a outros modos de transporte, contribuindo assim para uma mobilidade sustentável, melhorando a qualidade de vida dos centros urbanos.

BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE (2010) – Projecto mobilidade sustentável, Volume 2 - Manual de boas práticas para uma mobilidade sustentável. Lisboa. APA

ALVES, M. (2008) - Os peões, os passeios e as “causas comuns”. *in* Manual de Metodologias e Boas Práticas para a Elaboração de um Plano de Mobilidade Sustentável (pp. 103-107); QQR MARE, Sub-projecto TRAMO.

ARONOFF, S. (1989) - Geographic information systems: A management perspective. Ottawa: WDL Publications.

AUSTROADS. (1988) - Guide to traffic engineering practice - Part 13: Pedestrians. Sydney: Austroads.

BELTON, V. & STEWART, T. J. (2002) - Multiple criteria decision analysis: an integrated approach. Boston: Kluwer Academic Publishers.

BRANDÃO, P. (2002) - O Chão da Cidade - Guia de avaliação do design de espaço de espaço público. Lisboa: Centro Português de Design.

BURROUGH, P.A. & MCDONNELL, R.A (1998) - Principles of geographical information systems. Oxford: Oxford University Press.

BURROUGH, P.A. (1986) - Principles of geographic information systems for land resources assessment. Oxford Clarendon Press ; New York : Oxford University Press.

BURTON, E. & MITCHELL, L. (2006) - Inclusive urban design: Streets for life. Oxford: Architectural Press.

BUTLER, J.A. (2008) - Designing geodatabases for transportation. Redlands, Calif: ESRI Press.

CÂMARA MUNICIPAL DE LISBOA (2005) - Lisboa: O desafio da mobilidade. Lisboa. Departamento Municipal de Planeamento Urbano. CML.

CÂMARA MUNICIPAL DE LISBOA (2011) – Relatório da proposta de plano – Revisão do PDM. Lisboa. CML.

CÂMARA MUNICIPAL DE LISBOA (2013) – Plano de acessibilidade pedonal de Lisboa. Lisboa: Volume 2 Área Operacional Via Pública. Núcleo de Acessibilidade Pedonal de Lisboa. CML.

CARVER, S. J. (1991) - Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, v5(3), pp 321–339.

COMISSÃO DE COORDENAÇÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL DO NORTE (2008) - Manual de planeamento das acessibilidades e da gestão viária Peões. Porto. CCDR-N.

COMISSÃO EUROPEIA (2000) - Cidades para Bicicletas, Cidades de Futuro.

COMISSÃO EUROPEIA (2010) - Eurobarómetro sobre Política de Transportes, 2007 e 2010.

COPPOCK, J.T. & RHIND, D. W. (1991) - The History of GIS. in geographical information systems: Principles and applications. vol. 1, London, pp 21-43.

COSTA, N. (2007) - Mobilidade e transporte nas áreas urbanas. O caso da área metropolitana de Lisboa. Dissertação de doutoramento em Geografia Humana, Universidade de Lisboa, Lisboa.

COWEN, D.J. (1988) - SIG versus CAD versus DBMS: what are the differences?, in "Introductory readings in Geographic Information Systems". Londres: Taylor and Francis.

CROW. (1998) - Recommendations for Traffic Provisions in Built-up Areas: ASVV. Ede, Netherlands : Centre for Research and Contract Standardization in Civil Engineering.

CURTIN, K.M. (2007) - Network analysis in geographic information science: Review, assessment, and projections. Cartography and Geographic Information Systems. 34, no.2, pp 103-111.

DEPARTMENT OF GEOGRAPHY INDIANA UNIVERSITY (2012) - Introduction to GIS, Raster data structures. Acedido em Novembro, 6, de 2012 disponível em: http://www.indiana.edu/~gis/courses/g338/lectures/introduction_raster.html).

EASSON, G.L. (1999) - Geographic information systems. Department of Geology and Geological Engineering. University of Mississippi.

EASTMAN, J.R., JIN, W., KYEM, P., TOLEDANO, J. (1993) - GIS and Decision making. Explorations in geographic information system technology Vol. 4. Geneve: UNITAR – The United Nations Institute for Training and Research.

EASTMAN, J.R., JIN, W., KYEM, P., TOLEDANO, J. (1995) - Raster procedures for multi-criteria/multi-objective decisions. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol.61, No.5, pp. 539-547.

EASTMAN, J.R. & JIANG, H. (1996) - Fuzzy measures in multi-criteria evaluation proceedings. Second International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural and Environmental Studies, May 21-23, Fort Collins, Colorado, pp.527-534.

EASTON, A. (1973) - Complex managerial decision involving multiple objectives. New York: John Wiley & Sons.

ESRI (2012a) – ArcGIS resource center: Professional library – Analysis toolbox. Acedido em Abril, 15, 2013 em (http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/An_overview_of_the_Analysis_toolbox/).

ESRI (2012b) – ArcGIS resource center: Professional library - Network analyst. Acedido em Abril, 15, 2013 em (http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/What_is_Network_Analyst/).

- FOOTE, K. & HUEBNER, D. (1995) – The geographer's craft project. Department of Geography, University of Texas. Austin.
- GALATI, S.R. (2006) - Geographic information system demystified. Boston: Artech House.
- GONZÁLEZ, I.B., FREIRE, C.F., MORENTE, L.M.F., ASENSIO, E.P. (2012) - Los sistemas de informacion geográfica y la investigación en ciencias humanas y sociales. CSIC: Confederación Española de Centros de Estudios Locales.
- GOODCHILD, M F. (1988) - Modeling error in objects and fields. Accuracy of Spatial Databases Meeting. Montecito, CA, (USA), Dec. 1988. pp. 107-113.
- GOODCHILD, M F. (1992) – Geographical information science. International Journal of Geographical Information Systems.
- GOODCHILD, M F. (1998) – Geographic information systems and disaggregate transportation modeling. Geographical Systems, 5, pp.19-44.
- GUTIÉRREZ, J. & URBANO, P. (1996) - Accessibility in the European Union: the impact of the trans-european road network. Journal of Transport Geography, v4 n.1, pp 15-25.
- GUTIÉRREZ, J. (2001) - Location, economic potential and daily accessibility: an analysis of the accessibility impact of the high speed line Madrid - Barcelona – French border. Journal of Transport Geography: Elsevier Science, pp 229-242.
- HAGGET, P. & CHORLEY, R. (1969) - Network Analysis in Geography. London: Edward Arnold.
- HUSDAL, J. (2000) - How to make a straight line square-Network analyses in raster GIS. Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica, Universidade de Leicester, Leicester.
- IGP (2009) - Instituto Geográfico Português, Informação Geodésica, Informação Técnica – Sistemas de Referência. Acedido em Abril 23, 2013 em (http://www.igeo.pt/produtos/Geodesia/Inf_tecnica/sistemas_referencia/Datum_ETRS89.htm, consulta em 20-08-2009).
- INSTITUTO DA MOBILIDADE E DOS TRANSPORTES (2012) - Ciclando plano de promoção da bicicleta e outros modos suaves 2013-2020. Lisboa. IMT.
- INSTITUTO DA MOBILIDADE E DOS TRANSPORTES TERRESTRES (2011) - Pacote da Mobilidade, Coleção de brochuras técnicas/temáticas, Rede pedonal - Princípios de planeamento e desenho. Lisboa. IMTT. Acedido em Janeiro, 25, 2013 (<http://www.conferenciamobilidade.imtt.pt>).
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (1983) – Censos: Resultados definitivos - Lisboa 1981. Lisboa. INE.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (1991) – Conceitos e Metodologias, BGRI – Base Geográfica de Referência de Informação. Lisboa. INE.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (1996) – Censos: Resultados definitivos – Região Lisboa e Vale do Tejo 1991. Lisboa. INE.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (2002) - Censos 2001: Resultados definitivos – Região de Lisboa. Lisboa. INE.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (2002) - Censos 2001: Resultados definitivos – Portugal. Lisboa. INE.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (2012a) - Censos 2011: Resultados definitivos - Região de Lisboa. Lisboa. INE.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (2012b) - Censos 2011: Resultados definitivos – Portugal. Lisboa. INE.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (2012c) - Anuário Estatístico da Região Lisboa - 2011. Lisboa. INE.

JOHNSON, S. (2006) - The ghost map: the story of London's most terrifying epidemic, and how it changed science, cities and the Modern World. New York: Riverhead Books.

KANSKY, K. (1963) - Structure of transportation networks: Relationships between network geometry and regional characteristics. Ph. D. Thesis in Philosophy. University of Chicago, Chicago.

KEMP, K. (2008) - Encyclopedia of geographic information science. Los Angeles: SAGE Publications.

LITMAN, T. (2005) - Measuring transportation. Victoria: Victoria Transport Policy Institute.

LITMAN, T. (2010) - Economic value of walkability. Victoria: Victoria Transport Policy Institute.

LONGLEY P.A., GOODCHILD, M. F., MAGUIRE, D. J., RHIND, D. W. (2005) - Geographic information systems and science. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons.

LOUREIRO, J. (2008) - Metodologia multi-critério para análise da qualidade acústica em Igrejas. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto.

MAGUIRE, D.J., GOODCHILD, M.F., RHIND, D.W. (1991) - Geographical information systems: Principles and applications. England : Longman Scientific & Technical.

MALCZEWSKI, J. (1999) - GIS and multicriteria decision analysis. New York: John Wiley & Sons.

MATOS, J. (2008) - Fundamentos de informação geográfica. 5ª Edição actualizada e aumentada. Lisboa: Lidel.

MILLER, H.J. & SHAW, S.L. (2001) - Geographic information systems for transportation: Principles and applications. New York: Oxford University Press.

MORAIS, P. (2013) - Os transportes públicos e a mobilidade dos cidadãos portadores de deficiência motora no concelho de Lisboa. in *Construindo cidades saudáveis*. Lisboa: Universidade de Lisboa.

MORGADO, P. (2010) - Efeito estruturante das redes de transporte no território – Modelo de análise. Dissertação de doutoramento em Geografia Humana, Universidade de Lisboa, Lisboa.

MOUSSEAU, V. (1997) - Compensatoriness of preferences in matching and choice. Paris: Université de Paris Dauphine - Laboratoire d'analyse et modélisation de systèmes pour l'aide à la décision.

NUNES DA SILVA, F. (2008) - Ordenamento do território, sistemas de transportes e mobilidade urbana. *in* Manual de Metodologias e Boas Práticas para a Elaboração de um Plano de Mobilidade Sustentável (pp. 67-73); QQR MARE, Sub-projecto TRAMO.

OSGOOD, C.E., SUCI, G.J., TANNENBAUM, P.H. (1957) - The measurement of meaning. Urbana: University of Illinois Press.

PEREIRA, M. (2003) - Metodologia multicritério para avaliação e selecção de sistemas informáticos ao nível industrial. Dissertação de Doutoramento em Investigação Operacional, Faculdade de Engenharia, Universidade do Minho. Braga.

RAMOS, R. (2000) - Localização industrial. Um modelo espacial para o noroeste de Portugal. Dissertação de doutoramento em Engenharia Civil, Universidade do Minho, Braga.

REICHEN, B. (2006) – Mobilité et grands ensembles: D'un urbanisme de zones à un urbanisme de flux. *Revue Urbanisme*, n. ° 347 pp. 43-44. Paris: Publications d'architecture et d'urbanisme.

RODRIGUE, J.P., COMTOIS, C., SLACK, B. (2006) – The geography of transport systems. New York: Routledge.

ROGERS, R. (2008) - Cities for a small planet. Boulder, CO : Basic Books.

ROWLET, J. & GILBERT, P. (1989) - The market for land information services, systems and support. In SHAND, P. & MOORE, R. (1989) - The Association for Geographic Information Yearbook. London: Taylor & Francis and Miles Arnold.

SAATY, T.L. (1977) - A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, Vol.15 n.3, pp 234-281.

SHEKHAR, S. & XIONG, H. (2008) - Encyclopedia of GIS. New York: Springer Science.

STAR, J. & ESTES, J. (1990) - Geographic Information Systems - An Introduction. Englewood Cliffs: Prentice Hall.

STILLWELL, W.G., SEAVER, D.A., EDWARDS, W. (1981) - A comparison of weight approximation techniques in multiattribute utility decision making. *Organizational Behavior and Human Performance*, Vol. 28 n1, 62-77.

TRB. (2000) - Highway capacity manual. Washington D.C: Transportation Research Board, National Research Council.

VOOGD, H. (1983) - Multicriteria evaluation for urban and regional planning. London: Pion.

WINTERFELDT, D. V. & EDWARDS, W. (1986) - Decision analysis and behavioral research. New York: Cambridge University Press.

WRIGHT, D.J., GOODCHILD, M.F., PROCTOR, J.D. (1997) - Demystifying the persistent ambiguity of GIS as "tool" versus "science". Annals of the Association of American Geographers, 87, no.2: pp 346-362.

ANEXOS

Anexo 1: Lista de Equipamentos por Categoria e número:

Categoria	Tipo de Equipamento	Nº de Equipamentos
Ensino	Escolas Primárias	85
	Escolas Básicas	73
	Escolas Secundárias	24
	Ensino Superior	82
Transportes Públicos	Estação de Comboio	16
	Estação Metro	47
	Estação Fluvial	3
Comércio	Mercados	32
	Feiras	9
	Grandes Centros Comerciais	14
Turismo	Hotéis	138
	Hostels	12
	Pousadas da Juventude	1
	Monumentos	62
	Postos de Informação Turística	9
Desporto	Piscinas	23
	Pistas de Atletismo	2
	Pavilhões Desportivos	3
	Outros Golf, Bowling, Remo, Equitação, Vela, Campo de Futebol, Radiomodelismo	39
Cultura	Teatros	39
	Museus	64
	Bibliotecas e Arquivos	181
Lazer	Parques e Jardins	25
	Estádios	9
	Cinemas	13
	Miradouros	21
Serviços Públicos	Tribunal	36
	Notários	39

	Conservatórias	8
	Serviços da CML	211
	Juntas de Freguesia	101
	Lojas do Cidadão	2
	Instituições Governamentais.	245
	Finanças	14
	Esquadras da PSP	36
	Correios.	53
Saúde	Hospitais Público	16
	Hospitais Privados	28
	Centros de Saúde	30

Anexo 2: Inquérito Realizado:

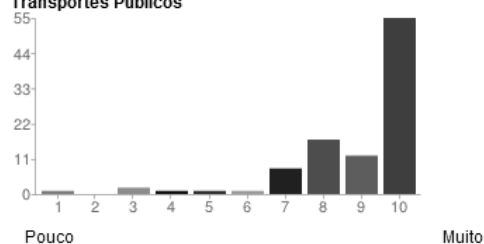
Na sua opinião, geralmente andam a pé muitas ou Poucas pessoas nas redondezas destes equipamentos?

Por favor responda para cada um dos tipos de equipamentos indicados abaixo, usando uma escala de 1 a 10 em que 1 é Poucas e 10 são muitas.

Saúde (Hospitais Públicos ou Privados e centros de saúde)	Poucas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Muitas
Ensino (Escolas primárias, básicas, secundárias e Ensino Superior)	Poucas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Muitas
Transportes Públicos (Estações de Metro, Comboio e Barco)	Poucas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Muitas
Serviços Públicos (Lojas do Cidadão, Tribunais, Finanças, etc)	Poucas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Muitas
Desporto (Piscina, Pista de Atletismo, Pavilhão desportivo, etc)	Poucas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Muitas
Cultura (Teatros, Bibliotecas, Museus, etc)	Poucas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Muitas
Turismo (Hoteis, Monumentos, etc)	Poucas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Muitas
Comércio (Grandes centros comerciais, Mercados, Feiras etc)	Poucas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Muitas
Lazer (Cinemas, Jardins, miradouros etc)	Poucas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Muitas

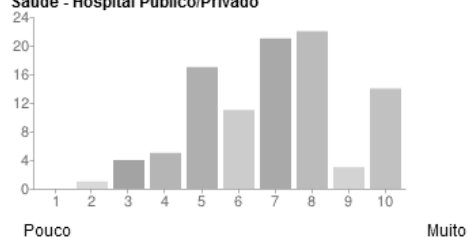
Anexo 3: Resultados do Inquérito:

Transportes Públicos



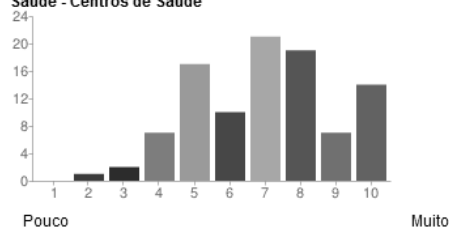
1 - Pouco	1	1%
2	0	0%
3	2	2%
4	1	1%
5	1	1%
6	1	1%
7	8	8%
8	17	17%
9	12	12%
10 - Muito	55	56%

Saúde - Hospital Público/Privado



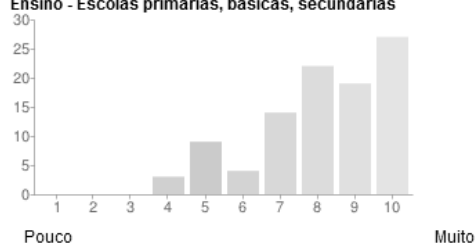
1 - Pouco	0	0%
2	1	1%
3	4	4%
4	5	5%
5	17	17%
6	11	11%
7	21	21%
8	22	22%
9	3	3%
10 - Muito	14	14%

Saúde - Centros de Saúde



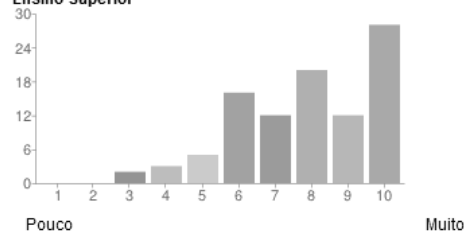
1 - Pouco	0	0%
2	1	1%
3	2	2%
4	7	7%
5	17	17%
6	10	10%
7	21	21%
8	19	19%
9	7	7%
10 - Muito	14	14%

Ensino - Escolas primárias, básicas, secundárias



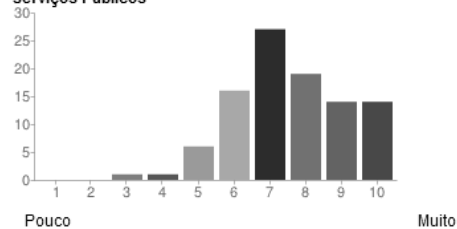
1 - Pouco	0	0%
2	0	0%
3	0	0%
4	3	3%
5	9	9%
6	4	4%
7	14	14%
8	22	22%
9	19	19%
10 - Muito	27	28%

Ensino Superior



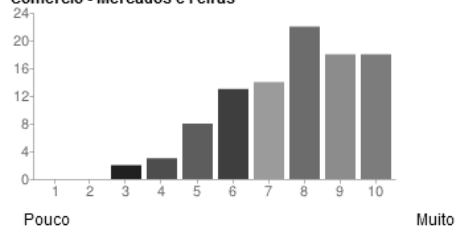
1 - Pouco	0	0%
2	0	0%
3	2	2%
4	3	3%
5	5	5%
6	16	16%
7	12	12%
8	20	20%
9	12	12%
10 - Muito	28	29%

Serviços Públicos



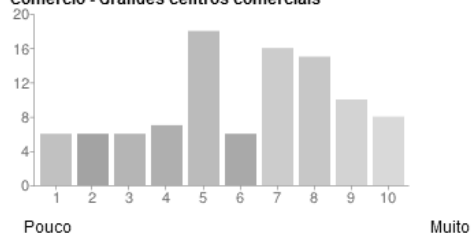
1 - Pouco	0	0%
2	0	0%
3	1	1%
4	1	1%
5	6	6%
6	16	16%
7	27	28%
8	19	19%
9	14	14%
10 - Muito	14	14%

Comércio - Mercados e Feiras

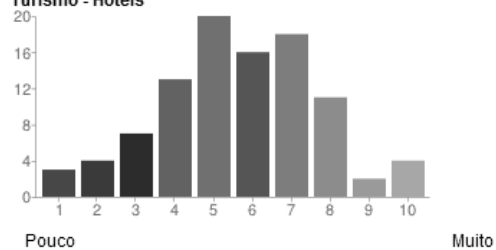


1 - Pouco	0	0%
2	0	0%
3	2	2%
4	3	3%
5	8	8%
6	13	13%
7	14	14%
8	22	22%
9	18	18%
10 - Muito	18	18%

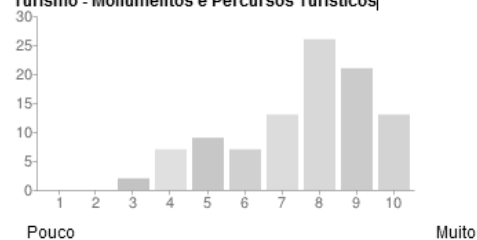
Comércio - Grandes centros comerciais



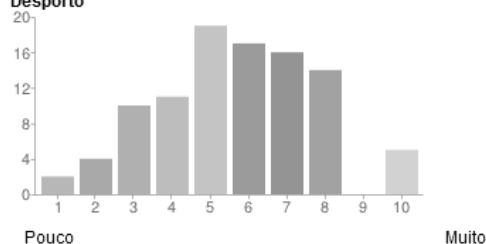
1 - Pouco	6	6%
2	6	6%
3	6	6%
4	7	7%
5	18	18%
6	6	6%
7	16	16%
8	15	15%
9	10	10%
10 - Muito	8	8%

Turismo - Hotéis

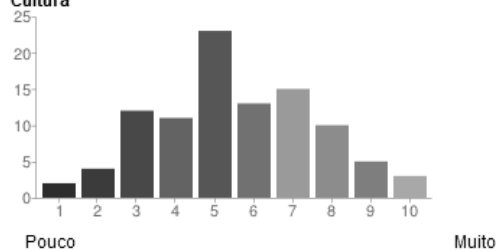
1 - Pouco	3	3%
2	4	4%
3	7	7%
4	13	13%
5	20	20%
6	16	16%
7	18	18%
8	11	11%
9	2	2%
10 - Muito	4	4%

Turismo - Monumentos e Percursos Turísticos

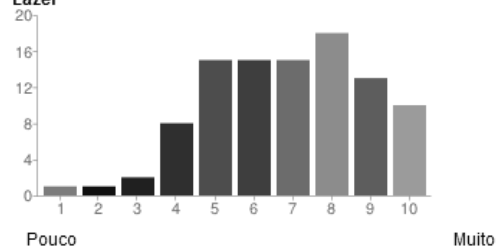
1 - Pouco	0	0%
2	0	0%
3	2	2%
4	7	7%
5	9	9%
6	7	7%
7	13	13%
8	26	27%
9	21	21%
10 - Muito	13	13%

Desporto

1 - Pouco	2	2%
2	4	4%
3	10	10%
4	11	11%
5	19	19%
6	17	17%
7	16	16%
8	14	14%
9	0	0%
10 - Muito	5	5%

Cultura

1 - Pouco	2	2%
2	4	4%
3	12	12%
4	11	11%
5	23	23%
6	13	13%
7	15	15%
8	10	10%
9	5	5%
10 - Muito	3	3%

Lazer

1 - Pouco	1	1%
2	1	1%
3	2	2%
4	8	8%
5	15	15%
6	15	15%
7	15	15%
8	18	18%
9	13	13%
10 - Muito	10	10%